CONTENTS OF NO. 28

(In Japanese with English summary except * in English)

TANAKA, S.
Studies on the dynamics and the management of fish populations……(1)

*NAGASAKI, F.
Some aspects in the distribution of fur-seals in the North Pacific……(201)

*NAGASAKI, F.
Abundance of pups on the Pribilofs estimated from tag-recoveries……(211)

HIGASHI, H., HIRAO, S., YAMADA, J., KIKUCHI, R. and NOGUCHI, H.
Studies on fluctuation of the vitamin A content in fishes—IV.
Vitamin A and lipids in eel……(217)

Published Quarterly by

TOKAI REGIONAL FISHERIES RESEARCH LABORATORY

TSUKISHIMA, CHUO-KU, TOKYO

JAPAN

本報告略号
—東海水研報—

Abbreviation of this bulletin
—Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab.—

昭和35年5月25日 印刷
昭和35年5月31日 発行

発行所 水産庁東海区水産研究所
東京都中央区月島3号地

発行者 源生一太郎
東京都中央区月島3号地

印刷者 田中忠雄
東京都中央区新富町3の6

印刷所 日本応用印刷株式会社
東京都中央区新富町3の6
電話 築地 (551) 7191～5

水産生物の Population Dynamics と漁業資源管理*

田　中　昌　一

目　次

第1章　緒　論 …… 5
1.1　はしがき …… 5
1.2　漁業規制と資源学の歴史の要約 …… 6
1.3　言葉記号等の説明 …… 8
1.3.1　記号・用語 …… 8
1.3.2　魚種名（和名及び学名） …… 11
1.4　謝　辞 …… 12

第2章　Population dynamics (I)　基本的なモデル …… 13
2.1　漁業資源における力学の問題 …… 13
2.2　基本方程式（Russell の方程式） …… 13
2.3　Sigmoid 曲線 …… 14
2.4　Baranov 流の dynamics のモデルについての検討 …… 17
2.4.1　死亡法則 …… 17
2.4.2　成長法則 …… 20
2.4.3　加入量 …… 22
2.5　資源量，漁獲量等の計算 …… 25
2.5.1　基本的モデルの設定 …… 25
i)　Russell の方程式　ii)　加入　iii)　死亡法則　iv)　成長法則
v)　四つの要素の一般的表現
2.5.2　四つの要素の計算 …… 28
2.5.2.1　Bertalanffy の成長式の場合 …… 28
2.5.2.2　直線的成長の場合 …… 30
2.5.2.3　四つの要素についての数値例 …… 31
2.5.3　漁獲係数 F と漁獲量の関係 …… 33
2.5.4　漁獲最少年令 x_c と漁獲量の関係 …… 35
2.5.5　非定常状態について …… 36
2.6　資源量と自然増加量の関係 …… 39
2.6.1　資源における成長と死亡の作用 …… 39
2.6.2　Sigmoid 曲線との比較 …… 42
2.6.2.1　定常状態について …… 42
2.6.2.2　漁獲係数が急に F_1 から F_2 に変化した場合 …… 43
2.6.2.3　加入量が急に変化した場合 …… 43

* 1960年1月26日受理，東海区水産研究所業績 A 第125号.

2.6.2.4 若干の論議 ……44

第3章 Population dynamics (II) 若干の修正 ……45
3.1 基本的モデルにおける問題点 ……45
3.2 F や M が年令によつて異なる場合 ……45
3.2.1 F が年令によつて異なる場合 ……46
3.2.1.1 漁獲対象資源への加入が瞬間的でない場合 ……46
3.2.1.2 年令によつて異なつた漁具で利用される場合 ……48
3.2.2 M が年令によつて異なる場合 ……49
例 1. 高令で M の高くなる場合（北海道の春ニシンをモデルとして）……49
例 2. 若令で M が著しく高い場合（カタクチシラスをモデルとして）……50
例 3. 若令及び高令で M が高い場合（マイワシをモデルとして）……50
3.2.3 等価底曳漁業の考え方 ……52
3.3 成長曲線が変化する場合 ……54
3.3.1 成長の変化の仕方 ……54
3.3.2 パラメタの変化の影響 ……56
3.3.2.1 w_x の変化の影響 ……56
3.3.2.2 K の変化の影響(1) ニシンの場合 ……57
3.3.2.3 K の変化の影響(2) ソウハチガレイの場合 ……59
3.4 加入量の問題 ……60
3.4.1 親と子の量的関係についての若干の実例 ……61
3.4.2 Y に対する R の影響 ……63
3.4.3 親と子の量の間の関係についての数学的モデル ……64
3.4.3.1 Type A ……65
3.4.3.2 Type B ……66
3.4.3.3 Type C ……67
3.4.3.4 Type D ……68
3.4.3.5 二つの基本型 ……68
3.4.4 再生産曲線のあてはめ方 ……69
3.4.4.1 Ricker の曲線 ……69
3.4.4.2 Beverton and Holt の曲線 ……70
3.4.4.3 再生産曲線のあてはめの際の問題 ……71
3.4.5 密度独立的な死亡のランダムな変動の影響 ……72
3.5 群衆 (Community) の問題 ……74
3.5.1 一つのモデル的例 ……75
3.6 漁業の変化にともなう漁獲量の変化率 ……76
3.6.1 $\frac{dY}{dF}$ について ……77
3.6.2 $\frac{dY}{dx_c}$ について ……78
3.6.3 Isopleth diagram における等量線の方向 ……79

第4章 データの収集と解析，資源量の推定 ……81
4.1 漁業に関する調査への標本調査法の導入 ……81
4.2 体長組成の推定 ……81

4.2.1 イワシ類調査での実例 ……81
4.2.2 体長組成の精度 ……83
4.2.3 測定誤差の問題 ……84
例 1. $f(l)$ が正規分布の場合 ……84
例 2. $f(l)$ が指数分布の場合 ……85
例 3. $f(l)$ が矩型分布の場合 ……85
例 4. σ_E が l に比例する場合の吟味 ……86
4.3 年令組成の推定 ……87
4.3.1 いろいろな方法 ……87
4.3.2 体長を層別に利用する二重抽出法について ……88
4.3.2.1 抽出法及び推定式 ……88
4.3.2.2 推定値の期待値及び分散 ……88
4.3.2.3 若干の実例 ……90
例 1. 大羽マイワシ ……90
例 2. カタクチイワシ ……92
例 3. その他の例 ……92
4.4 生残率の推定 ……93
4.4.1 生残率の推定法 ……93
4.4.2 年令組成から推定した生残率の精度 ……93
4.4.2.1 標本が random に抽出された場合 ……93
4.4.2.2 体長層別によつて年令組成を推定した場合 ……96
4.5 体長組成の解析 ……97
4.5.1 モードに注目した体長組成の解析法 ……97
4.5.2 正規分布をする2群の混合した分布型 ……97
4.5.3 カタクチイワシの体長組成の解析 ……98
4.5.4 Polymodal な体長組成の解析 ……99
4.6 資源量の推定 …… 101
4.6.1 標識放流 …… 102
例 1. モデル的実験 …… 104
4.6.1.1 北洋のナガスクジラの資源量の推定 …… 105
4.6.2 努力量と漁獲量よりの F と M の推定 …… 107
4.6.2.1 北海道春ニシンの自然死亡係数の推定 …… 108
4.6.3 直接的観測法 …… 109
4.6.3.1 産卵総量の推定法 …… 110
4.6.3.2 産卵総量推定上での問題点 …… 112
i) 産卵調査定線の問題 ii) 卵の存在時間 d_u の推定 iii) 垂直曳の誤差
4.6.3.3 九州西方海域でのマイワシ産卵量 …… 114
4.7 資源量の相対指数と有効漁獲努力量 …… 116
4.7.1 魚群密度の空間分布の不均一さについて …… 117
4.7.1.1 以西底曳漁業についての二つの例 …… 120
4.7.1.2 資源量指数の正当性についての吟味 …… 120
i) サンプリングの誤差について ii) ますめ内の均一性
iii) 漁具の漁獲能率の不変性 iv) Availability の問題
v) 漁獲の影響の生物学的等価性

4.7.2 時間分布の問題 …… 123
4.7.3 一部のみが漁獲されている資源 …… 124

第5章 資源の管理と漁業の規制 …… 126
5.1 資源管理の原理 …… 126
5.1.1 禁漁区の理論 …… 126
5.1.2 禁漁期の理論 …… 127
5.1.3 禁止漁具 …… 127
5.2 マイワシ資源利用の合理化について …… 127
5.2.1 マイワシ資源についての問題点 …… 127
5.2.2 データ …… 129
5.2.3 等漁獲量曲線 …… 132
5.2.4 論 議 …… 135
5.2.5 マイワシ資源利用の合理化についての結論 …… 137
5.3 遠州灘・伊勢湾方面のカタクチイワシ資源について …… 139
5.3.1 漁業の大勢からみた資源の概観 …… 139
5.3.2 データ …… 142
5.3.2.1 成長曲線，年令組成 …… 142
5.3.2.2 生残率 …… 144
5.3.3 シラス漁業の影響 …… 148
5.3.3.1 モデルの設定 …… 148
5.3.3.2 計算式 …… 149
5.3.3.3 結果及び若干の論議 …… 152
5.3.4 伊勢湾における解禁日の問題 …… 155
5.3.5 遠州灘・伊勢湾方面のカタクチイワシ資源についての一応の結論 …… 156
5.4 以西底曳漁業の資源について …… 157
5.4.1 以西底曳漁業資源における問題点 …… 157
5.4.2 個々の魚種ごとの等漁獲量曲線 …… 162
5.4.2.1 データ …… 162
5.4.2.2 等漁獲量曲線図 …… 168
5.4.3 魚種ごとの結果の総合 …… 168
5.4.4 等量線図による解析からの結論 …… 172
5.4.5 努力量の時間的，空間的配分の問題 …… 174
5.4.5.1 キダイを例としての努力量配分計画 …… 175
5.4.5.2 シログチを例としての禁漁区，禁漁期の効果の見積 …… 176
5.5 資源管理の一つの考え方——本論文の結びとして …… 180
文 献 …… 183
Synopsis …… 191
付 録 …… 199

第1章　緒　　論

1.1 はしがき

SCHAEFER (1957) は，魚の資源を，更新的天然資源 (renewable natural resources) の中の自律的資源 (self-regulating resources) と分類している。即ち，ある瞬間に存在する現存量は，その資源に特有の回転率でたえず更新されており，さらに，この回転率は，この資源をとりまく環境によつては勿論，人間の利用のし方によつても変化する。現在の進歩した漁業技術は，ほとんどすべての魚の資源に何等かの影響を与えるものと考えられる。したがつて，資源の保存に関して充分に注意を払い，何等かの方法によつて人間の行為を規制しない時には，我々はこの天然資源から充分の利益を得ることができないであろう。自らの行動を規制して漁業資源を管理し，我々の利益を最大にするとともに，この豊かな天与の資源を我々の子孫にまで伝えてゆくということは，現在の我々に課せられた重大な義務である。

資源管理は，本来最大の利益のためのものでなければならないが，ややもすると，これがかえつて争いの具となり，政治的ないいがかりを与え，むしろ漁業者に苦しみを与えるような結果を招いていることは，資源の研究にたずさわる者の一人として，その責任を感じないわけにはいかない。過去半世紀にわたる偉大な科学者達の努力にもかかわらず，我々はまだ，充分によく魚の資源について理解する所まで行つていないのである。漁業資源は，それ自体の特性の故に，我々の理解をさまたげているのである。

自然科学は次のような発展経過をたどるであろう。まず我々は，自然に起つている現象を忠実に記述することからはじめねばならない。これ等の記述から，我々は多くの経験的法則を導びく事ができるであろうし，さらに進んで，現象の裏にひそんでいる機構についても仮説をうち立てることができるようになるであろう。これ等の仮説から出発すれば，ある作用に対する反作用について理論的に演繹し，予想することができる。理論的に予言されたいくつかの事が現実の結果と一致すれば，最初の仮説は，もはや仮説ではなく，真理として受入れられるべきものである。漁業資源の研究においても，この発展段階はそのままあてはめられるはずである。過去半世紀以上にわたつての我々の経験は，いろいろな型で記述されて来た。そうして，その中から，資源変動の機構についての仮説が提起され，さらに数学的モデルとして抽象された (WATT, 1956)。幾人もの人が，それ等のモデルによる理論的演繹を試みて来た。これ等の研究が，現在 population dynamics の名のもとによばれているものである。我々は，population dynamics によつて，過去に経験した諸現象の多くを説明することができた。たとえば，漁獲は資源の中の平均体長を小型化させ，又過度の漁獲がかえつて漁獲量を減少させることの理由を知つた。

それにもかかわらず，我々は資源を理想的な型で利用することに，明らかに失敗している。その大きな理由は何か？ Population dynamics は過去の現象に対して一般的解釈は与えたが，将来の具体的問題，たとえばマイワシ資源は乱獲であるか，もし間引率を下げるとどうなるか，というような問題に対しては，単なる仮説を提供するにすぎないのである。そして，我々は，実際の漁業に適用して，この仮説を検証する以外に，実験室内での，又実用化中間試験的な実験の方法をもたないのである。我々は可能性をさぐるのみで，真実をつかむことができない。

このような状態のままで，いたずらに時をすごすべきではないであろう。とすると，いかにすべきであろうか？ まず，過去の現象と，現在の population dynamics の間にあるくいちがいをあきらかにしなければならない。そして，そのくいちがいをなるべく取りのぞくべく理論の改良につとめなければならない。理論の精密化は，必然的に現象記述の精密化を要求する。数多くのデータが正確に得られなければならないし，又単なる断片的な記述から総合された表現に発展しなければならない。そして最後に，我々は，我々の仮説の正しさを現実に照してたしかめるための努力をはらわなければならない。Population dynamics は，具体的な資源管理と結びつき，一体となつて，はじめて生きた学問となり得るであろう。

著者は，以上の問題を本論文で考えてみたいと思う。まず population dyanmics を通じて得た魚の資源の変動法則についての我々の認識を要約する(第2章)とともに，いくつかの問題についてさらに検討して

みる(第3章)。Population dynamics の発展については，Beverton and Holt (1957) の労作によつて非常に多くがなされており，又 Ricker (1958, b) によつて有用なハンドブックが出版されているが，ここでもなお若干が加えられている。次に現象記述の精密化のための試み，即ち標本抽出の問題及びデータの総合的表現或は特性値推定の問題について論ずる(第4章)。これ等の方法のうちの多くは，すでに実際の資源調査の作業の中にとり入れられている。最後の部分では，実際の資源について，具体的な検討が加えられている(第5章)。又ここでは，具体的検討と同時に，population dynamics と資源管理のむすびつきについて，一つの将来のあり方を述べることにする。このむすびつきこそ，将来 population dynamics が，観念的学問から，生きた実践の学問へ発展するかなめであると考える。

ここで一言，資源管理と漁業管理についてふれておこう。著者は，この二つの言葉について，一般に最も広く受入れられている解釈をとることにする。即ち，生物学的にのみ考えた場合の管理の問題を資源管理とよび，生物学のほかに社会的，経済的，或は経営的要素もとり入れて，総合的見地から考える場合を漁業管理とよぶことにする。増殖ということを考えない場合の資源の管理は，漁業を規制すること以外ではなされないし，漁業の規制は，社会的，経済的条件を考慮せずには行い得ないから，問題は当然漁業管理という立場から総合的に考えられるべきであろう。しかし，このような大きな問題は，とうてい個人の能力でなし得る所ではないし，又中途半端な学問発展の状態のままで，いきなり総合的に論ずる場合には，生物学的事実がゆがめられるおそれもあるであろうから，さしあたつては，社会的，経済的側面を捨象することが必要であると考える。勿論，漁業管理という立場の正しい事を心にとどめておくことは必要であるが。

1.2 漁業規制と資源学の歴史の要約

本論にはいるまえに，しばらく，漁業規制と資源学の起つて来た歴史をふりかえつてみることは，過去における資源管理という事についての思想的移り変りをたどる上において，意味のあることであろう。すべての生物が過去の長い進化の過程の上に存在しているのと同様に，現在の学問は，過去の歴史を背負つており，又現在の思想は過去のすべての思想の上に立つて存在している。だから，現在の時間断面における形態のみをとらえて判断することは，しばしば誤りをおかすことになるであろう。そして将来，単なるまねごとではない，真に新らしいものを日本の漁業の研究の上に加えていくためにも，現状と同時に，過去の歴史を知ることが必要であると考える。

歴史的記述をするには，それだけで充分に大きな努力を要する。又充分に多くの資料を集めなければならない。このような仕事は，短時日の間になし得ることではないし，又そのことが本論文の主題でもない。しかし，すでにまとめられ要約された文献もないわけではない。今ここで，これ等のものの二，三によつて，歴史のあとをたどつてみることにする。

資源保護のために漁業を規制するという考え方は，必ずしも新らしいものではない。今から何百年も昔の，まだ漁撈技術の幼稚な時代でも，内水面や，ごく沿岸の限られた資源，或は定着性の貝類や海藻を利用していたので，これ等の小さな資源に対する間引の影響はしばしば相対的にはかなり大きくなつたであろう。したがつて，局地的な資源の減少，時には乱獲状態が実際に起り得たと考えられる。そのために，口あけ，口どめ，禁止漁具等の種々の規制措置——そのすべてが，充分な理由をもつていたとは思われないが——がとられていた。

Graham (1956, a) は，イギリスの場合について，漁業規制の歴史を述べている。それによると，最も古い記録としては，1278年に，salmon 漁業に対する規制が，王によつてみとめられた例がある。規制の内容としては，漁期制限，漁具の使用制限，溯上をさまたげないための網間隔の制限等がふくまれていた。当時河を上り下りする salmon が著しく減少したために，困つていたといわれる。1376年には，網目の細かい漁具が一方では漁場を荒しながら，つかいものにならない小さな魚をとつているというつつたえが，王に提出されている。そのために諮問委員会がつくられ，網目を大きくすべきことを報告している。1558年に出された法律は，eel, salmon, pike その他，すべての魚の産卵，稚魚幼魚の保護に関するものであつた。1714年の法律では，幼魚保護のため網目の制限を規定している。1843年の法律では，イギリスとフランスの漁業

者間の争いをさけるため，漁具についていろいろと規定し，網目についても制限が加えられていた。一方，無制限漁業こそ理想であるという考えから，1868年にいたつて，これ等の多くの法律は廃止されたが，その数は実に 50 に達したという。1883 年には，有名な HUXLEY のドクトリンが発表された。彼は，法律によつて漁業の取締りを行なうことの無意味さを強調した。

漁撈技術の急速な進歩によつて，新らしい漁場が次々と開拓されつつある時代においては，無制限な漁業によつて，その発展は一そう促進されたが，19 世紀もおわりになつて，1890 年頃には，North Sea の古い漁場で sole や plaice の 1 隻当漁獲量の減少，魚体の小型化が問題とされるようになつた。つまり，近代的意味での乱獲問題，及びこれにともなつて漁業資源学も，この頃から始まつたのである。当時網目の問題が再び議論され出した。PETERSEN は 1894 年に“魚が充分に大きくなるまで，とるのをがまんし，又ストックが再生産し得るだけをとつているならば，同一の海面でより大きな継続的利益の得られることは，疑う余地がない”と述べている。この PETERSEN の考えは，BARANOV, RUSSELL, GRAHAM 等によつてうけつがれ，又 THOMPSON 等によつて新世界にもちこまれた。そして，その後半世紀にわたつて，世界の漁業資源学をリードし，現在の最大持続生産量 (maximum sustainable yield) の思想へと発展して来たのである*。

一方，日本における漁業規制を，資源管理という面からまとめたものは，みあたらないようであるが，山口 (1957) の著書に，若干の記載がある。これによると，9 世紀或はそれ以前から，毒流し，かいぼり，密簗の設置，小アユの漁獲を禁止した例がある。足利時代の末期には，漁撈技術もかなり進歩し，沿岸漁場は次第に開発され，権利関係も複雑になつて来た。さらに下つて江戸時代に入ると，沿岸漁場の開発はさらに進み，漁場の境界の争いが頻発したが，又乱獲防止，繁殖保護のための漁期，漁具の制限，稚魚の漁獲禁止等の漁業制限も行なわれた。たとえば，松前藩において，1780年代ニシン漁をめぐつて刺網と大網の間で争いが起り，資源の減少は大網による乱獲であるとして小漁民が反対したため，大網は禁止された。しかしこの刺網単行制度は次第にくずれ，大網は資源に悪影響をおよぼさないことがわかつて，許可されるようになつた。又1750年頃行なわれていた三面川のサケの種川制(自然産卵場の保護)は有名である。漁撈技術は大いに発達して来たが，封建的な生産関係のもとで，その発展をさまたげられたものもあつた。

明治に入つてからは(1868年)，封建的諸制度は一応撤廃され，外国から技術が導入され，科学的研究もはじまり，さらに動力船の輸入もあつて，革命的変化がもたらされた。漁場は沿岸から沖合へと発展し，沿岸と沖合，或はさらに遠洋漁業者の間に階層の分解がおこり，沖合漁業と沿岸漁業との深刻な争いがはじまつた。そのために，底曳漁業などは，次第に沿岸からしめ出されていつた(大鶴，1955)。沿岸から締出された底曳漁業は，次々と新らしい漁場を開拓して前進を続けたが，又当時の国力を背景にして，中国大陸沿岸の禁止区域ともいうべき所までも侵入して，陸上から射撃をうけるというような不祥事件をおこしたものもあつた(宇田，1950)。漁業の発展につれて，しばしば資源の減少になやまされるようになつた。

資源に関する研究は，漁業の発展につれて次第にさかんになつて来た。ニシンの研究は，その歴史の古いことで有名なものの一つである(石田，1952)。しかし，諸外国に比較すると，漁業の形態がより複雑であるにもかかわらず，組織的研究が少なく，やはり日のあたらない研究分野であつたというべきであろう。戦後はこの点で大いに改善され，研究の成果も大きい。

GRAHAM の記述と，山口の記述では，その目的が全く異なり，したがつて主張の方向も異なつているであろうから，これ等二つの文献からうける印象をそのまま比較することは，適当ではないであろう。又イギリスにくらべて，日本では資源保護の考え方が弱かつたという事にもならないであろう。しかし，現在世界にひろくみとめられている資源学の方法や思想は，やはりイギリスを中心としたヨーロッパの国々の漁業，特に底曳漁業の問題の中から生れて来たものであるという点は，みとめざるを得ないであろう。日本においては，資源問題が，漁業者間の調整と，新漁場の開拓ということで処理されていたとみられるのに対して，欧

---

* 最近結ばれた条約(日米加条約，日ソ条約，オツトセイ条約等)ではすべて，最大な持続的生産性の維持ということがうたわれている(水産庁，1957)。

米においては，勿論新漁場の開発の努力もなされたが，資源そのものとも真剣に取組んで来たように思われる。欧米の漁場のように，各国の込入つた入会関係の中での漁業調整は，科学的根拠による以外に，お互の意見の一致をみることが不可能であつたのであろうが，理由はともかく，大いに資源研究の発展に寄与して来たことはたしかである*。

漁業は社会的行為であるから，それぞれの国の漁業は，それぞれの特徴をもつているであろう。したがつて，漁業の研究にも，それぞれの国の特色があるはずである。たとえば，イギリスでの研究は，イギリスの漁業，特に底曳漁業を頭に入れて考えない時には，その真価をみあやまるであろうし，カナダの研究を正しく評価するには，この国における salmon 漁業の実状や重要性を知らなければならないであろう。

このように考えると，日本には日本の漁業があり，これ等の漁業は，日本周辺の海洋条件によつてつくり出された魚の資源を利用しているわけであるから，当然研究の上にも日本的特徴がなければならないはずである。現在，組織的研究がはじまつてまだ日の浅いためもあつて，そのような特徴をはつきりつかむことができないように思われる。科学の分野においては，共通的に通用する原理があり，外国に学ぶことは重要ではあつても，同時に，日本の漁業に関する研究もなされねばならないであろう。

その意味で，本論文中で扱う実例は，若干の例外を除いて，すべて日本の漁業をとりあげることにした。そして，いささかでも，その特徴をつかむことに努力したつもりである。

1.3 言葉記号等の説明

1.3.1 記 号・用 語

本論文中で用いられている記号及び用語については，すべてその都度説明してあるが，ここで一覧にして示しておこう。本論文中の記号及び用語は，次の方針により用いられている。まず FAO, ICNAF, ICES 連合の会議で採択された標準用法（Holt and others, 1959）にしたがうこと，従来の慣例を参考にすること，なるべく一つの字は一つの意味にのみ用いること，やむを得ない場合には，混乱を起さない程度に，二重に用いることもあるが，その場合でもなるべく同系統の意味に用いることである。又ある一つの字，たとえば N は，これに添字をつけたり印をつけたりして，いろいろな場合の資源尾数をあらわすことにする。たとえば N_x は年令 x の魚の尾数等である。次に記号及び用語を一覧にして示す。

記号	意味又は用語
A	加入量(重量)
A	漁場面積　産卵場の広さ
a	常数，回帰直線の常数項 } $y=a+bx$ 等
b	〃　〃　1次の項 }
b	卵の孵化時間
C	漁獲尾数
C	変動係数，　C_y：y の変動係数
c	コスト，価額，価額比
c	添字として x_c をあらわす。N_c：x_c の時の尾数等
D	自然死亡量(重量)，D_1：x_c から x_d の間での自然死亡量　D_2：x_d に達して死ぬ量
D_t	減少係数（自然死亡，逸散を含む）
d	魚群密度
d	卵の存在する時間，　$d=kb$
d	二つの平均値の差
d	添字として x_d をあらわす。N_d 等

* 有名な International Council for the Exploration of the Sea (ICES) が設立されたのが 1902 年である。

E	産卵総量，産卵親魚数
E	期待値，$E(y)$: y の期待値
F	漁獲係数
F'	規格化された F　　$F'=F/K$
$F(l')$	観測値 l' の分布
f	漁獲率　$1-e^{-F}$
$f(y)$	変数 y のある函数，　$\frac{dP}{dt}=f(P)$　等
G	増重量（資源全体の）
g	個体当り平均産卵数
h	階級間隔
i	数，　y_i　$i=1,2,\cdots,n$　等
j	数，　同上
K	Bertalanffy の成長式のパラメタ，$w_x=w_\infty(1-e^{-K(x-x_0)})^3$
k	ある常数，比例常数，population の増加率 $\frac{1}{P}\frac{dP}{dt}=k(L-P)$， $k=d/b$，$w=kl^3$　等
L	空間の維待し得る最大の P　(k の項参照)
L	1次標本（体長標本）の大きさ
L	添字として，大羽漁業，M_L，F_L 等
l	個体の体長
l_∞	理論的極限体長，　Bertalanffy の式のパラメタ，$l_x=l_\infty(1-e^{-K(x-x_0)})$
l_0	成長曲線　l_0+ux のパラメタ，　$x=0$ の時の体長
M	自然死亡係数
M'	規格化された M，$M'=M/K$
m	自然死亡率　$1-e^{-M}$
N	資源尾数
n	一般に数，　$i=1,2,\cdots,n$　等
n	標本の大きさ（年令標本の大きさ等）
n	標識再捕数
P	資源量（重量），生体量
p	割合，確率，混合比
Q	移動量　　$\frac{dN}{dt}=-(F+M)N-Q$　等
q	単位努力当漁獲率　$F=qX/A$
R	加入量（尾数）　$=N_r$
R	体長階級の数　$l=1,2,\cdots,R$
r	比率，　r 倍にする等
r	抽出率　$r=n/N$ 等
r	Availability
r	年令級の数
r	添字として x_r をあらわす。l_r 等
S	生残率，　$S=e^{-Z}$
S	添字として，小羽漁業　M_S，F_S 等
s^2	不偏分散推定値

T	期間数，期間の長さ
t	時間
U	標識資源尾数
u	年間体長増加量 $l=l_0+ux$
V	自然増加量 $V=A+G-D$
V	金額
$V(y)$	y の分散
w	個体の体重
w_∞	理論的極限体重 BERTALANFFY の成長式のパラメタ（K の項参照）
W	重み（加重平均等の）
x	年令
x_0	体重(長)が 0 となる年令。 BERTALANFFY の成長式のパラメタ（K の項参照）
x_r	資源(漁場)への加入年令，漁獲可能となる年令
x_c	実際に漁獲される最少年令
x_d	魚の最高年令
X	努力量
$\tilde{X}$	有効努力量
Y	漁獲量（重量）
y	一般にある変数
Z	全減少係数
Z_{1x}	ある瞬間の年令組成での全減少係数 $\frac{1}{N_t}\frac{dN_t}{dx}=-Z_{1x}$
z	一般にある変数
α	比例常数的常数，再生産曲線のパラメタ等
β	常数，再生産曲線のパラメタ
γ	$w_\infty K^3$
δ	誤差，ランダムな変動
ε	同上
ε	努力の有効度， $\varepsilon=\tilde{X}/X$
ζ	ある変数　　変数変換 $\zeta=1/N$, $\zeta=\frac{d-y}{\sigma}$ 等
η	ろ水率
θ	移動の係数 $\theta=Q/N$
θ	温度
κ	漁獲率の比 $f_0=\kappa f_1$
λ	年令， $x-x_0$
μ	自然死亡係数，ある量の函数として， $M=\mu(N)$ 等
μ	正規分布の母平均
ν	標識放流数
ξ	規格化された年令， $\xi=K(x-x_0)$
ξ	ある成長発育階段をあらわす尺度
ρ	$w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}$
ρ	相関係数
σ	標準偏差，二つの標準偏差の比

τ	時間空間
$\Phi(y)$	$\int_0^y \varphi(y)\,dy$, $(\varphi(y)$ の項参照)
$\varphi(x)$	相対的 F, $\varphi_x=F_x/F_\infty$ 等
$\varphi(y)$	正規分布函数
χ	親魚単位重量当り産卵量
$\psi(\delta\|l)$	l の点における δ (誤差)の確率密度
$\Omega(Z,\lambda)$	生産函数 $\Omega(Z,\lambda)=\int_\lambda^\infty \lambda^3 e^{-Z\lambda}\,d\lambda$
ω	産卵空間
$\Delta\omega$	プランクトン・ネットの口面積

1.3.2 魚種名(和名及び学名)

本論文中にあらわれる魚種の学名は次の通りである(松原, 1955 による)。

魚種名	学名
ニシン	*Clupea pallasi* Cuvier et Valenciennes
マイワシ	*Sardinops melanosticta* (Temminck et Schlegel)
カタクチイワシ	*Engraulis japonica* (Houttuyn)
マサバ	*Scomber japonicus* Houttuyn
ゴマサバ	*Scomber tapeinocephalus* Bleeker
マアジ	*Trachurus japonicus* (Temminck et Schlegel)
ブリ	*Seriola quinqueradiata* Temminck et Schlegel
ビンナガマグロ	*Thunnus alalunga* (Bonnaterre)
カラフトマス	*Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum)
ワカサギ	*Hypomesus olidus* (Pallas)
マダイ	*Chrysophrys major* Temminck et Schlegel
キダイ(レンコダイ)	*Taius tumifrons* (Temminck et Schlegel)
ワニエソ(マエソ)	*Saurida tumbil* (Bloch)
トカゲエソ(ミツエソ)	*Saurida elongata* (Temminck et Schlegel)
マエソ(トカゲエソ)	*Saurida undosquamis* (Richardson)
シログチ(イシモチ)	*Argyrosomus argentatus* (Houttuyn)
キグチ(キングチ)	*Pseudosciaena manchurica* (Jordan et Thompson)
クログチ	*Argyrosomus nibe* (Jordan et Thompson)
ホンニベ	*Miichthys imbricatus* (Matsubara)
タチウオ	*Trichiurus lepturus* Linné
ハモ	*Muraenesox cinereus* (Forskål)
キチジ	*Sebastolobus macrochir* (Günther)
ホッケ	*Pleurogrammus azonus* Jordan et Metz
ソウハチガレイ	*Cleisthenes pinectorum herzensteini* (Schmidt)
ムシガレイ	*Eopsetta grigorjewi* (Herzenstein)
ナガスクジラ	*Balaenoptera physalus* (Linné)

外国産の魚については, 英名をそのまま用いたので, 特に説明を要しないであろう。中で, 北東太平洋の herring, sockeye はそれぞれ日本のニシン及びベニザケ *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) と同種であ

る。又アメリカの sardine は文献によつては pilchard ともよばれており *Sardinops caerulea* のことである。

1.4 謝 辞

本研究を行なうにあたり，京都大学農学部教授川上太左英氏には，懇篤なる指導と校閲の労をたまわつた。ここに衷心より感謝の意を表す。又東京水産大学名誉教授田内森三郎氏，東海区水産研究所資源数理科長栗田晋氏のたえざる御指導による所が多く深く感謝する。本研究を進めるにあたり指導，援助をたまわつた，東海区水産研究所資源部長中井甚二郎氏に感謝する。なお同研究所の石田昌夫氏には本稿の印刷に際し，多大の助力をたまわつたことを記して，ここに謝意を表したいと思う。

第 2 章 Population Dynamics (I) 基本的なモデル

2.1 漁業資源における力学の問題

漁業における資源問題とは，結局漁業資源の自然的な生産と，人間の利用の間の釣合いの問題といえよう。魚の資源は，個々の魚の成長によつて自らの重量を増し，子供を生んで数を増加させることによつて，生産を行なうとともに，一方病気，他の動物による食害等の自然死亡によつて消費し，その資源に特有の平衡状態を保つている。この平衡状態は，単なる平衡ではなく，安定でなければならない。いろいろな環境条件や内的条件による攪乱が，常に平衡状態を乱すように作用しているにもかかわらず，地質時代的な長さにわたつて，その種を維持して来たのは，魚の資源自体のもつ弾力性が，攪乱に対抗して，安定性を持続させて来たからに外ならない。つまり，好適な条件が作用して，資源の大きさが増すと，この増加に対抗するような力が，内部的或は外部的に生じ，ある限界以上に増大することをさまたげ，又逆になん等かの悪い条件が加えられると，資源は縮少し，この縮少に反撥する力が生じて，悪い条件の中で資源をある水準に維持させるように作用して来たわけである。この反撥力によつて，人間による魚の資源の利用が可能となるわけである。人間による利用，即ち漁獲は，必然的に魚の死亡率の増大をもたらす。そして，この死亡率の増大が，逆に生産の増大をもたらして，新らしい安定状態が生じ，人間は定常的に魚の資源から，一定の利益を得ることができる。

ゴムまりの反撥力が，圧迫の力，即ちまりの変形の程度によつて異なると同様に，魚の資源の反撥力も，漁獲の強さ，即ち資源の大きさ，或は縮少の程度によつて異なるであろう。だから，人間の手にし得る利益も，漁獲の強さ．或は資源の大きさによつて異なるであろう。そしてもし，資源が内部的にもつている増大しようとする力，即ち成長及び繁殖力と，同じく減少しようとする力，即ち自然的要因による死亡との差，つまり実質的生産力を最大にするような資源の大きさ，この大きさに対応する漁獲の強さ（間引率）に，資源或は漁獲を管理するならば，我々は，魚の資源に，永続的に最大の外力を加えることができる，いいかえるならば，最大の漁獲量をあげることができるのである。

以上述べたように，魚の資源の大きさの変化は，その資源のもつている内部的な力と外部的な力の力関係によつてひき起され，したがつて，問題を力学系における力の釣合と全く対応させて考えることができる（土井，1956）。問題は，これ等の内部的な力や外部的な力を，生物学的事実に基づいて，構造的，機能的に表現して，一つの力学系を形作り，かつその力学系の中で働いている力を量的に表現して，ある外力に対する力学系全体の運動法則を，具体的に求めていくことである。

2.2 基本方程式（Russell の方程式）

魚の資源に作用している力には，すでに述べたように，四つの要素がある。即ち，再生産による加入量 A，成長による増重量 G，漁獲以外の自然的要因による死亡量（自然死亡）D，及び漁獲による死亡，即ち漁獲量 Y である。Russell (1931) は，ある年の初めの資源量 P_1 と翌年初めの資源量 P_2 の間の関係を

$$P_2-P_1=A+G-D-Y^* \tag{22.1}$$

と与えている。これから明らかなように，平衡状態においては，$P_2-P_1=0$ であるから，

$$Y=A+G-D \tag{22.2}$$

又もし，

$$Y>A+G-D \tag{22.3}$$

であれば $P_2<P_1$ となつて資源は減少し，

$$Y<A+G-D \tag{22.4}$$

であれば $P_2>P_1$ となつて資源は増大する。

ところで，この式の右辺は，第1次的には自然的要因によつて決定されるものであり，しばしば自然増加

---

* Russell の原方程式では，P のかわりに S，D のかわりに M，Y のかわりに C を用いている。

量 (natural increase) とよばれる (Graham, 1935b; Schaefer, 1954)。これに対して左辺は漁獲量であるから，人間の行為に直接結びつけられたものである。つまり，Y と $A+G-D$ を対比させることによつて，人間の行為と自然の条件が対比させられているわけである。

Russell の方程式は，以上のような dynamics の基本的考え方を支えているが，それ自体としてはなんの意味ももたないものである。これはあたかも，Newton の運動の法則に対比させるべき魚の資源の運動の法則である。

Russell の方程式を実際に解いて，魚の資源の運動を具体的に知るためには，Newton の運動の法則で，力とか加速度というものを具体的に表現しなければならないのと同様に，四つの要素について，具体的に明らかにしていかねばならない。これからこの問題を考えていこう。

2.3 Sigmoid 曲線

Russell の方程式を解いて，人間による魚の資源利用の合理化についての資料を得ようということは，結局魚の資源の種々の状態に対して，自然増加量 ($A+G-D$) の値を求め，或は予想することに外ならない。資源の状態といつても，その大きさ，組成等，いろいろの要素が考えられる。そして，それ等の要素が変るごとに，自然増加量の中の三つの要素も，種々の仕方で，しかもお互に関連をもちながら変化するであろう。したがつて，実際にいろいろな資源の状態に対応する自然増加量を推定するということは，容易な仕事ではないし，又そのためには，ぼう大な資料を要するであろう。しかし又一方，各種の要素の中で，ある特定の要素が特に著しく作用しているという可能性も考えられる。そしてもし，このような要素を求めることができれば，我々は有用な第一近似として，まずこの一つ或はごく少数の要素をとりあげることができるであろう。

ここでまず思いうかぶ重要な要素は，資源（或はもつと広く個体群）の大きさとその密度である。この考え方は，遠く Malthus あたりまでさかのぼることができる（久保・吉原，1957)。ところで資源の大きさと密度とは，天然の状態においては，一般に別のものである。というのは，資源の大きさが増大すると，生物は一般にその生活領域を拡大して，その密度を一定に保つような行動をとるからである。* したがつて，要素を資源の大きさと密度とにしぼつても，なお複雑な問題が残されている。しかし，生活領域が何等かの理由で限られていたり，又実験室において飼育するような場合には，密度はその個体群の大きさと比例関係で結びつけられるであろうし，天然の場合においても，資源の増大につれて無制限に生活領域を拡大し得るわけではないので，大きさと密度の間には，何等かの正の関係があると考えるべきであろう。だから，最も単純化された状態においては，資源の大きさを，その資源の状態をあらわす唯一のパラメタと考えることができる。又後で述べるように，資源が何等かの自己制御機構をもつているとすれば，それは Nicholson (1933) が述べているように，密度（資源の大きさ）従属的な力が作用しているはずであるから，こういう観点から見る場合には，資源の大きさが一つの重要な要素であることはまちがいない。

魚の資源は，一般に1年を周期とする変動をくりかえしている。だから，実用的意味においては，時間の単位として年をとるのがよい。Russell の方程式でも，年が基準になつている。しかし，1年の間における資源の大きさの変動は，時によりかなり著しくなるので，** 年を定差とする差分方程式を考えるには，資源の大きさとして，何等かの平均をとらねばならない。このことは理論的考察の上では不便である。この場合には微分方程式を考えるのが便利である。

---

* マイワシは戦後著しくその資源の大きさを縮少したと考えられている。それに応じて，その生活領域もせばめられ，資源の分布が戦前とかなり変化している（北海道区水産研究所，1959)。ニシンにおいても，近年の不漁は，全体的に密度が薄くなるというよりは，地域的に漁がなくなるという型で進行して来た（4.6.2.1 参照)。

** 東支那海のキダイの生残率は，現在かなり低いので，加入量を単位としてはかつた資源量が，加入直後で3程度にすぎない。だから，加入が瞬間的に行なわれるとすると，資源量は1年の間に 3 : 2 程度の巾で振動することになる（田中，1957b)。

微分方程式は

$$\frac{dP}{dt}=f(P) \qquad (23.1)$$

とあらわされる (Schaefer, 1954, 式 (1))。$f(P)$ の型はもちろん未知であり，いろいろの型を想像することができるであろうが，一般的にいつて，次の現象を説明するものでなければならない。

a) 魚の資源は，漁業の行なわれなかつた時代においては，ある安定な平衡状態を保つており，無制限に増大もしなければ，消滅もしなかつたわけであるから，$f(P)$ の中に自己調節的機能が含まれていなければならない。そしてこのような資源での自然増加量は，平均として 0 であると考えられる。

b) 我々は過去において，特に底魚について乱獲の苦い経験をいくつかなめて来た。つまり自然増加量には限界があり，かつ最大の増加量はある中間の資源の大きさの所であらわれて，それ以下ではかえつて減少するらしい。

c) 極端に縮少した資源からは，我々はほとんど自然増加を期待できない。この事が実際の漁業資源で示された例はないであろうが，陸上動物については多くの例がある。一旦ある限界以下に減少させられた資源は，その状態を維持するだけでも，人間による特別の保護が必要になつている。漁業資源においても，このような限界を考えるべきであろう。*

d) 一般に動物個体群の時間的増大傾向をみると，しばしば，個体群の小さい所でも大きい所でも自然増加は小さく，ある中間の所で最もすみやかに増大するのがみられる。このことは a)～c) の記述と合つている。魚についてこのことをたしかめた例を知らないが，Plibilof 島のオツトセイでこのことがみられる (Kenyon and others, 1954)。昆虫で実験した例は多い (内田, 1949; Odum, 1953; 宮地・森, 1957 等参照)。

以上の諸条件をみたす $f(P)$ の型を考えると，細部についてはともかくとして，Fig. 2.1 に示すような中高の曲線でなければならない。このような性質をもつた曲線の中で最も簡単なものは，抛物線即ち

$$f(P)=aP-bP^2 \qquad (23.2)$$

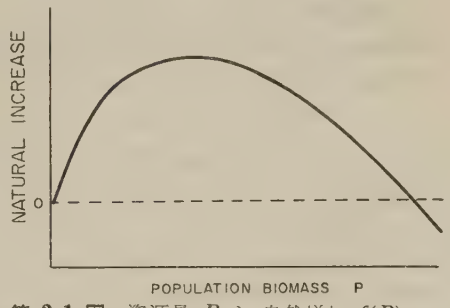
であろう。この場合に個体群の時間的増加は logistic 曲線となる。logistic 曲線には，種々の意味づけをすることができる。

$$\frac{1}{P}\frac{dP}{dt}=\frac{f(P)}{P}=a-bP \qquad (23.3)$$

とおくと，ある潜在的な増加率 a が個体群の大きさに比例した環境抵抗をうけた場合をあらわすことになる (Odum, 1953)。又

$$a-bP=b(L-P) \qquad (23.4)$$

とおくと，ある空間には維持し得る個体群の大きさに限界があり，ある時の増加率は，その時における空間の余裕の程度に比例するという説明をつけることもできる (Graham, 1938)。



第 2.1 図　資源量 P と 自然増加 $f(P)$ の間の一般的関係

Fig. 2.1. General relationship between population biomass and natural increase.

Sigmoid 曲線の理論には，ある程度の生物学的意味づけがなされること，昆虫や酵母などの個体群についてよくあてはめられることが実証されていること，及びこの理論によつて乱獲の問題が説明され，さらに

---

* 陸上動物においても，人間による引続く間引によつて，極端に減少したり絶滅したものもあるが，一方その個体群を永続させて来た例もある。たとえば北海道のオオカミが前者の例で，ヒグマが後者の例である (犬飼, 1956-7)。だから，極端に減少したものは，生態的にも現在の環境 (人間的要素も含めた) に適合しなくなつたものということがいえるかもしれないが，それでも，減少の原因が単なる人間による間引過剰にあつたならば，その間引をやめることによつて，自然に個体群を回復させ得るはずである。それにもかかわらず，個体群の増加がみられないということは，個体群の小さい所では，自然増加が著しく低いか，或は負になることすらある証拠といえよう。

適正漁獲についての判断の材料を与えてくれることのために，漁業の問題にこの考えを応用した例は多い。最も古い例としては Hjort and others (1933) がある。その他，Graham (1935b, 1938, 1939)，Baerends (1947)，最近では Schaefer (1954)，栗田 (1957a) の例がある。そして多くの場合，いろいろと条件をつけながらも，第1近似として，logistic 曲線をみとめ，これの実際のデータへのあてはめによつて，最大な自然増加量の位置の推定を試みている。勿論，一般に P に対してプロットした自然増加量は，広い範囲にわたつてちらばり，曲線のあてはめもそれほど正確なものではあり得ない。たとえば Schaefer (1954, p. 35) の Fig. 2 においても，もしこれに信頼限界を付したとすると，それは極めて巾の広いものとなるであろう。ただこの図では，資源の大きいほど平衡漁獲量も多くなる傾向がうかがわれる。栗田は日本のマイワシについて，先見的に抛物線を想定するようなことはせず，資源量に対してその年の自然増加量をプロットし，一般的傾向をみている。その結果によると，1941年頃から引続いて数年にわたり自然増加が低く（時には負となり），Fig. 2.1 のような関係がみられない事から，この頃より 2~3 年前の発生群が著しく少なかつたことを推定している。

Schaefer にしても，栗田にしても，その研究は最近行なわれたものであるが，用いた資料は古いものである点が特徴である。Halibut の場合は，長期にわたつて漁獲量，努力量の統計がとられていた。しかし，年令組成や成長については，充分な資料がそろつていない。一方，マイワシについては，漁獲統計だけは利用できるが，努力量統計すら充分なものはなにもない。そのような状況のもとで，古い資料によつて過去に起つた現象を説明し，或はさらに将来に対して予測をしようとするならば，我々は資源の大きさ以外の要因を考慮に入れることは不可能である。Schaefer や栗田の研究は，その意味で理解されねばならない。そして又，この方法は，Schaefer (1956) のいう第1段階であり，又 Watt (1956) のいう最も単純なモデルによる研究である。

Schaefer や Watt がいうように，この段階での研究は，必要とするデータが少なくてすむかわりに，得られる結果もそれほど精密なものではない。もし資源の大きさ以外の要因が作用したとしても，これ等は一括してランダムな誤差とみなされてしまう。しばしば引合に出される酵母や昆虫（特に実験室で飼育した）においては，環境条件は一定に保たれているし，個体群の構造もより単純であるから，個体群の状態はその大きさだけで充分によく表現されるかもしれない。しかし，たえず変化する環境（人間の行為を含めた）の中で，量的ばかりでなく質的にも変動をくりかえしている魚の資源における，これに作用している力関係の正しい理解のために，資源の状態の表現として，より複雑なものが要求されるのは当然である。現に，sigmoid 曲線による解析のあまりの単純さに対して，いくつかの批判があらわれている。

土井 (1956) は，logistic 曲線では，重要なダイナミツクスのパラメタである加入量が，陰にしか含まれていないと指摘している。Holt (1958) も，第1の段階としてはみとめても，“この方法をさらに発展させる際の一つの困難は，漁業の強さの変化によつて必然的にひきおこされるストツクの年令組成の変化を，計算に入れることができないことである”と述べ，さらに，“この方法における根本的な難点は，年々のストツクの大きさの変化が，どの程度がストツク内部における死亡率と成長率の変化によつてひきおこされ，又どの程度がストツクへの加入量の変化によるかということについて，なんの知識も与えない事である”とのべている。栗田は，資源の大きさに対する自然増加量の傾向から，ある時期の加入量の少なかつた事を推定しているが，これはマイワシ資源の場合，死亡率や成長率の変化では説明しにくかつたからであつて，sigmoid 曲線の理論自身には，なにもこのことを示す根拠は含まれていない。そして，以上に示した諸批判や，栗田の論議からもわかるように，自然増加量は，資源の大きさに対して，けつして，1対1の対応をしないし，又曲線からのはずれ方も，けつしてランダムな誤差として平均化することのできるものではない。1対1の対応をしないという事は，logistic 曲線の型を数式的に複雑化するだけでは，問題の解決されないことを示している。

Logistic 曲線の理論では，環境の不変性と同時に，資源の内部構造における不変性を仮定している。しかし，魚の資源においては，資源の大きさの変化は，むしろ内部構造の変化によつておこると考えた方がよい。

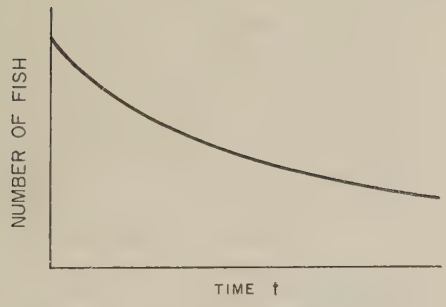
たとえば，死亡率が高くなると，必然的に高令魚の数が減少し，そのために資源の大きさも小さくなる。すべての年令の魚が一様に少なくなるようなことはない。だから，もし age-specific な死亡率，成長率，産卵量があれば，(実はほとんどすべての場合にみとめられているのであるが)，たとえ資源の大きさが一定であつても，年令組成の変化は必然的に自然増加量に変化を与えるであろう。この点については 2.6.2 でくわしく述べる。age-specific な諸要因の影響をのぞくには，資源を年令によつて分割し，各年令群ごとに考えればよいであろう。しかしそうすると，いわゆる資源の大きさ，或は密度の考えを根本的に入れかえねばなるまい。そして，年令別にみるためには，少なくとも加入による項と，成長及び死亡による項とをわけて考えなければならないし，そうなると又，それぞれの項について別々の密度効果を考えなければならなくなり，必要とされるデータも非常に多くなるので，もはや第1段階の研究としての性格はなくなり，sigmoid 曲線論の単なる拡張でもあり得なくなる。つまり，sigmoid 曲線の理論には，Holt のいうように，おのずから限界があるのである。

2.4 Baranov 流の dynamics のモデルについての検討

Sigmoid 曲線の理論では，加入量，成長量，死亡量をこみにして，それ等の総合された力のみを考えていた。しかし，この事は，これ等の要素を別々に評価することが困難だからではなく，その理論の簡単さの故であり，又昆虫等における結果からの類推であるとみるべきであろう。事実，sigmoid 曲線が漁業の問題に応用された以前に，Baranov (1918) は独自の数学的モデルによつて，Russell の方程式を表現することを試みている。Baranov の流れをくむ研究は，その後多くの人によつてうけつがれ，最近の Beverton and Holt (1957) の大きな業績にまでつながつている。Baranov 流の考えの中では，四つの要素は個別的にとりあげられ，又 age-specific な要素が考慮されており，さらに，生物学的知見の増加にともなつて，モデルをさらに精密化させることも可能である。したがつて，本論文中では，この Baranov 流の考え方が主体となつている。それで，これからいろいろな論議を展開する前に，根本的な所から基礎となるモデルについて検討を加えることにしよう。

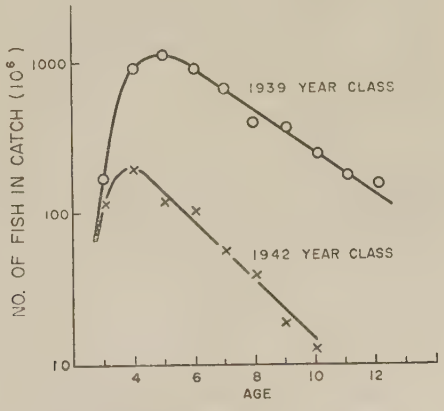
2.4.1 死 亡 法 則

まず死亡の問題から考えよう。ある時に生れた一群の魚は，その後，死亡によつてだんだん数を減じてゆく。だから，もしその一群の魚の尾数を時間に対してプロットしていけば，Fig. 2.2 のような曲線が得られるであろう。この曲線は死亡曲線，又は生存曲線とよばれる。ある時間 t_1 から t_2 までの間に死亡した数は，t_1 の時の尾数と t_2 の時の尾数の差であらわされる。もし漁具が少なくともある年令以上の魚について，選



第 2.2 図　ある年級群の生存曲線

Fig. 2.2. Mortality curve for a certain year class.

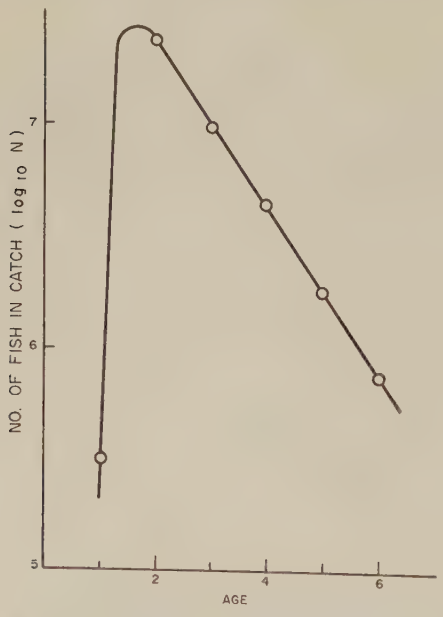


第 2.3 図　北海道ニシンの生存曲線
(石田，1952 より)

Fig. 2.3. Catch curve of Hokkaido herring.

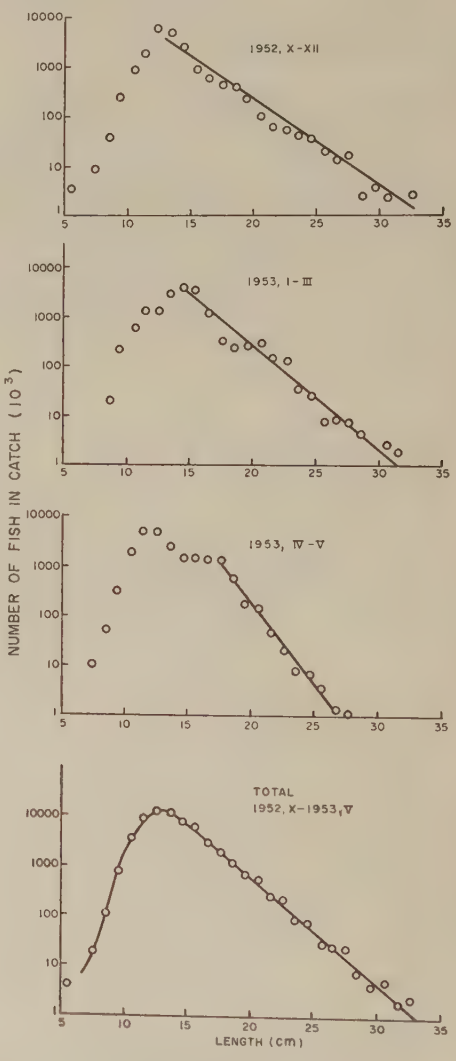
択的でなければ，この死亡曲線は漁獲物によつてもよく代表されるであろう。だから，漁獲物の年令組成がわかれば，魚の資源における死亡の法則をつかむことができる。

Fig. 2.3 に，北海道のニシンについての例を示す（石田，1952）。この図では，縦軸は対数の尺度で示されている。3～4才までは，漁業の選択の効果によつて，漁獲物にはよくその組成が反映されていないと思われる。4～5才以後では，点が直線的にならんでいることが注目される。つまり，年令とともに等比級数的に減少している。いいかえると，年々一定の割合のものが死亡していると考えられる。だいたいならして平均の死亡率は，1939年級で 25%，1942年級では 35% である。次の例は，以西機船底曳網で漁獲されたキダイの年令組成である（Fig. 2.4）。ここでは，一つの年級の生残りを追跡できるほど長期のデータが得られていないので，1950年9月から1年間の漁獲物の年令組成（田中，1956b）そのものが示されている。その組成は，ニシンの場合と全く同様の傾向を示している。キダイの場合，2才以上での死亡率はだいたい 58% である。もう一つの例として，香住で水揚されたソウハチガレイの体長組成を Fig. 2.5 に示す（日本海区水産研究所，1953；渡辺，1956）。体長組成についても，年令組成と同様のことがみられる。時期によつて傾斜に差があるが，全期間での組成は，完全に指数函数型である。この外いくつかの例をあげることができるし，本論文中でも，後の方で他の魚種についての例が示されている。それ等にほぼ共通していえることは，若令魚の数は少なく，ある年令で最大となり，その後



第 2.4 図 東海のキダイの年令組成（1950年9月～1951年8月までの底曳網漁獲物）

Fig. 2.4. Age composition of porgy in the East China Sea during the period of Sep. 1950—Aug. 1951.



第 2.5 図 香住で水揚されたソウハチガレイの体長組成

Fig. 2.5. Length composition of a kind of flat fish, *Cleisthenes herzensteini*, landed at Kasumi, Hyogo Prefecture.

はほぼ一定の割合で減少するという事である。この事を式であらわすと，ある年令以上について，Nを尾数，x を年令として

$$\frac{1}{N}\frac{dN}{dx}=-Z \tag{24.1}$$

となる。これが Baranov の理論の根本となる，死亡法則についての微分方程式である。

Zは全減少係数とよばれ，いくつか示した例からもあきらかなように，一般にある常数である。この微分方程式を解くと，$x=x_c$ で $N=N_c$ とおいて，

$$N_x=N_c e^{-Z(x-x_c)} \tag{24.2}$$

となる。N_x のうち1年後まで生残る数は $N_x e^{-Z}$，したがつて1年間に死んだ数は $N_x(1-e^{-Z})$ となる。

Z が常数でなくても，年令 x の函数で与えられれば，方程式は同様に容易に解くことができる。だから，この方程式を age-specific な死亡の場合に拡張することは，理論的には，なんの問題もない。その時には，

$$N_x=N_c e^{-\int_{x_c}^{x} Z(x)dx} \tag{24.3}$$

となる。

Age-specific の死亡で，実際上問題になるのは，高令魚で死亡率が急に高くなることである。たとえば Fig. 2.4 でみると，2～6才での傾向をそのまま外挿して，7才魚の尾数を予想してみると，1才魚の尾数より低くなるとは考えられないし，又7才魚から急に網をさける行動が活潑になるとも考えられないので，もし漁場内にいるとすれば，漁獲されるであろうし，漁獲されれば調査の網の目から抜けるほど僅少なものではないはずである。だから7才魚は漁場の外へ出てしまうのか，ここで寿命がきて死にたえてしまうとしか考えられない。漁場の外へ出る場合は，死亡ではないが，機船底曳漁業で考えるかぎり，その効果としては，死亡することと変りない。Baranov はこの点を無視して，魚の寿命は無限であるとしてモデルを考えているが，このようにすると，減少係数 Z が特に大きい場合をのぞいて，かなりの誤差を生ずることになる。山中 (1954c) や田中 (1954b)，或は Beverton and Holt (1957) は，この点を考慮して，ある最高年令を考えている。死亡率が年令によつて変化する場合については，3.2 でさらにくわしく論ぜられる。

すべての原因を含めた全体としての死亡の法則は，今まで述べたように，年令組成の形から容易に想像されるが，漁業の立場から考えると，このうち漁業によつておこされた部分と，漁業以外の自然の原因による部分とをわけて考える事が望ましい。漁業による部分を F，自然の原因による部分を M とすると，

$$Z=F+M \tag{24.4}$$

とかくことができよう。F と M をそれぞれ，漁獲係数，自然死亡係数とよぶ。Z が一定であることからいつて，F も M もともに一定の常数と考えることは，無理な類推ではなかろう。F も M も一定だとすると，1年間に死ぬ全体のうちで，漁獲によるもの，即ち漁獲量と，自然の原因によるものの比は，

$$\frac{F}{F+M} : \frac{M}{F+M} \tag{24.5}$$

となるであろう。

F が一定であるという事は，実際的ではあるが，それには一つの条件が必要である。つまり，漁業自身が一定でなければならない。漁業が強くなればなるほど，F も大きくなるはずである。ところで，漁業が強くなつた時，それに応じて F がどのように変化するかという事は，実は実証的には，あきらかになつていないように思われる。そして，この関係は当然漁具の種類や魚の生態によつて変化すると考えるべきであろう (Beverton and Holt, 1957, §8)。理論的に考えられることは，F の値は漁業の強さに比例するということである。F は微分方程式中での意味からいつて，各瞬間に何%の割で間引かれるかという値であるから，たとえば船の数を倍にすれば，F の値も倍になるということは，もつともらしい事である。この考え方は，Baranov 以来一貫してとられて来たものである (たとえば，Thompson and Bell, 1934; Ricker, 1940; Widrig, 1954; Beverton, 1954)。式であらわすと，X を努力量，q を単位努力当の漁獲率として，

$$Z=qX+M \tag{24.6}$$

となる。

この関係での特徴は，$M=0$ の場合で考えても，たとえば X が2倍になつた時に，漁獲尾数或は間引の率が2倍にならない事である。努力量が X の時の漁獲尾数は，$M=0$ とおくと

$$N_x(1-e^{-qX}) \tag{24.7}$$

であるが，一般に努力量が r 倍となつた時のそれは，

$$N_x(1-e^{-qrX}) \tag{24.8}$$

となり，その比は

$$\frac{N_x(1-e^{-qrX})}{N_x(1-e^{-qX})}=\frac{1-e^{-qrX}}{1-e^{-qX}} \tag{24.9}$$

となるが，これは qX が無限に小さくなつた極限以外では，必ず r より小さい。このことは数学的には自明の理であるが，実際的な意味は，ある時の漁獲が次の時の漁獲に影響を与えるということである。だから，もしその都度の漁獲がお互になんの影響も及ぼし合わないような場合には，このモデルは適用できない。たとえば，毎日毎日漁場にあらわれる魚群が全く別のものであつて，前日の漁獲の影響は翌日の漁獲になんの影響もないものとすると，当然2日分の漁獲量は1日分の2倍になることが期待される。このことからもあきらかなように，F が X に比例するというモデルを，無批判に用いることは注意しなければならない。

2.4.2 成 長 法 則

成長の法則も死亡の法則と同様明白である。何等かの方法で魚の年令を知れば，その体長或は体重を測ることによつて，直接的に求められる。勿論その際，個々の個体についての成長を知ることはできないが，我我の必要とするのは，群平均としての成長であるから，漁獲物における各年令ごとの平均体長又は体重を知れば，一般に充分であろう。*

理論的な成長曲線を実際のデータにあてはめても，又実際のデータをそのまま利用しても，とにかく成長曲線が得られたならば，年令別の尾数を重量に換算することも，又年令別の成長率を知ることも容易である。Russell の方程式のうちの成長量及び自然死亡量は，かくして求められる。

各年令別に推定された平均体重をそのまま用いることは，ある面では，現象をありのまま見るという意味でよいかもしれないが，誤差はそれだけ大きいであろうし，又数値計算の方からいつて，けつして便利ではない。だから，何等かの理論的成長曲線をあてはめた方が，実用的であり，すぐれていると思われる。Baranov は cod や plaice の体長の成長が，主な年令範囲で直線的であること，及びカレイ類では，体重は体長の3乗に比例することから，この関係を体重の成長式に利用した。さらに体長が直線的に増加することを利用して，年令のかわりに体長を変数として用いている。田中 (1954b) は，日本海西南海区のソウハチガレイで同様の事がみられるので，直線的体長の成長曲線を用いている。キダイでも，ほぼ直線的成長の傾向がみられる（西海区水産研究所，1953b；田中，1956b)。

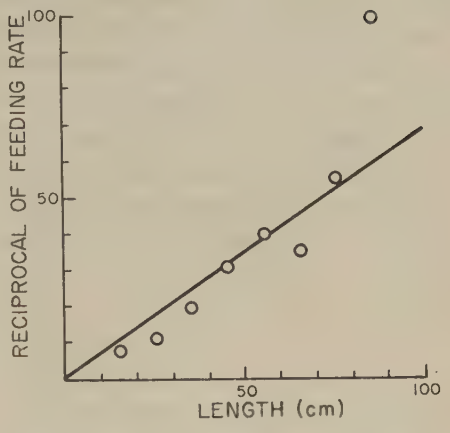
魚の体長は，しばしば，最初は徐々に，次第に急速になり，最後に再び頭打となるような型の成長を示す。この型は logistic 曲線に類似しているので，よく体長の成長式として logistic 曲線が用いられる。たとえば吉原 (1952) は，Baranov の理論で，直線を logistic 曲線におきかえることを試みている。しかし，積分が困難となり，実用的でない。計算が簡単だという点では，指数函数的成長曲線が第一であろう。なぜならば，死亡の法則も指数函数的であるからである。これを用いた例としては，Thompson and Bell (1934)，Ricker (1944)，土井 (1950, 1955) 等がある。この場合，土井の行なつたように，最高年令を考えるならばよいが，さもないと，Graham (1935a) が Thompson and Bell を批判した中で述べているように，資源の自己制御の機能が全くないことになるので，このような成長は考えにくい。

以上の外に，Beverton (1954) は，正規分布函数，Gompertz の式，Brody の式をあげているが，いずれも理論的根拠のうすいことを指摘している。そして Bertalanffy (1938) の式が最も適していることを強調している。Bertalanffy の式のすぐれていることは，いろいろの点からあげられる。一つは，この式の

---

* 時には，漁業が，同一年令に対しても体長によつて選択的に作用することがある。このような時には，漁獲物中の平均体長は，資源中での平均体長をあらわさない。

導びかれた生理学的基礎にある。即ち，成長を物質代謝の面からみて，増加量，即ち同化作用量は体重の2/3乗に比例し，減少量，即ち異化作用は体重に比例し，その差だけ体重が増加するものと考えた。たとえば，米田・吉田（1955）は，マイワシの摂餌量が体長の2乗に比例することを示している。三谷（1958）は，ブリについて，体長別の摂餌率を出している。今摂餌率の逆数を体長に対してプロットすると Fig. 2.6 のようにほぼ直線状になり，体重が体長の3乗に比例するものとすると，摂餌量が体長の2乗に比例することになる。三谷は又，胃の表面積が胃の容積より重要なことを述べている。このように Bertalanffy の生理学的モデルには，実証的裏付があるわけである。以上の関係を微分方程式にあらわすと



第 2.6 図　ブリの体長と摂餌率との関係

Fig. 2.6. Relationship between length and feeding rate, amount of food per unit of body weight, of yellow tail.

$$\frac{dw}{dx}=aw^{2/3}-bw \qquad (24.10)$$

となり，これを解いて，

$$w_x=w_\infty(1-e^{-K(x-x_0)})^3 \qquad (24.11)$$

を得る。ここで w_∞, K は a と b とに関係する常数であつて，K は b の 1/3 にあたつている。w_∞ は，x を無限に大きくした時の体重の極限（理論的）であつて，a と b を含んでいる。また x_0 は積分常数である。もし体重が体長の3乗に比例するものとすれば，(24.11) 式は

$$l_x=l_\infty(1-e^{-K(x-x_0)}) \qquad (24.12)$$

とあらわすこともできる。

この式の第2の特徴は，式に含まれている三つの係数を実際のデータから求めることが，比較的容易であることである。* 一般に超越函数を含む式の曲線のあてはめは簡単ではないが，Bertalanffy の式の場合には，Walford (1946) の定差図法が利用できる。つまり，$w_x^{1/3}$ について考えると，

$$w_x^{1/3}=w_\infty^{1/3}(1-e^{-K(x-x_0)}) \qquad (24.13)$$

となるが，ここで $w_x^{1/3}$ と $w_{x+1}^{1/3}$ を比較すると，

$$\begin{aligned} w_{x+1}^{1/3}&=w_\infty^{1/3}\{1-e^{-K}\cdot e^{-K(x-x_0)}\}\\ &=w_\infty^{1/3}\{1-e^{-K}+e^{-K}(1-e^{-K(x-x_0)})\}\\ &=w_\infty^{1/3}(1-e^{-K})+e^{-K}w_x^{1/3} \end{aligned} \qquad (24.14)$$

となるので，一般に横座標に $(w_{x+i})^{1/3}$，縦座標にそれに対応する $(w_{x+i+1})^{1/3}$ をとつてプロットすると，$w_\infty^{1/3}(1-e^{-K})$ の所で縦軸を切り，傾斜が e^{-K} となるような直線が得られる。この直線から w_∞, K の値が求められる。積分常数 x_0 は初期値を与えれば求められるが，この値はあまり重要さをもつていない。$w_x^{1/3}$ のかわりに，l_x を用いて定差図を画いても同じことであるが，一般に，厳密には体重は体長の3乗に比例しないので，体重より直接求めることが望ましい。

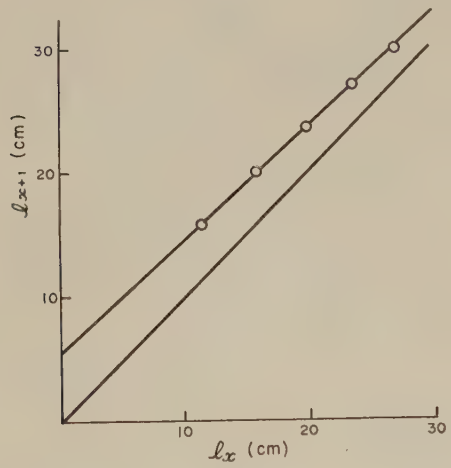
この式のもう一つの特徴は，指数函数の和としてあらわされているために，数学的取扱が比較的容易なことである。Baranov の用いた直線式よりも，むしろ簡単である。田中（1958a）は，Bertalanffy の成長式を用いた時の計算に便利なような数表を与えているし，又数表（Pearson, 1934）さえ手に入るならば，計算の途中にでてくる積分を，すべて不完全ベータ函数におきかえることもできる（2.5.2 参照）。

最も大事なことは，ほとんどすべての魚の成長が，この式で，少なくとも近似的にあらわされることであ

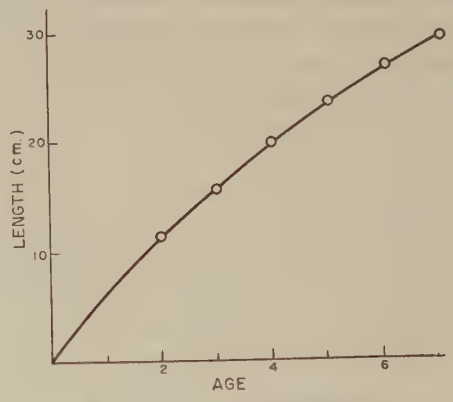
---

* 曲線のあてはめの問題だけについていうならば，直線の場合は勿論問題はなく，logistic 曲線の場合 Rasor, 1949；吉原，1950, 1951）. Gompertz の曲線の場合（Weymouth and McMillan, 1931）にも簡単な方法が考えられている。

る。むしろ WALFORD の定差図を画くことによつて，測定誤差を修正しようという試みすらある（劉・陳，1954；福田，1955；三柄，1958 等）。体長の直線的な成長は，高令魚には多くの場合あてはまらないし，もしあてはまつたとしても，これは BERTALANFFY の式で，K が著しく小さくなつた場合として，含めて考えることができる。キダイの成長は直線に近いが，Fig. 2.7, Fig. 2.8 のように，BERTALANFFY の式の方がよくあてはまる。マイワシ（田中，1958b）の体長もこの式で充分によくあらわされるといえる。そのほか，成長曲線としてこの式を用いた例は，HANAMURA（1953，ニシン），佐藤（1953，マイワシ），林（1957，マイワシ），岡地その他（1958，マサバ，ゴマサバ），三淵その他（1958，マアジ），真子（1959，ワニエソ，キングチ，シログチ）等数多くあり，いずれも実用的には満足な結果を与える。



第 2.7 図 キダイの体長の WALFORD の定差図
Fig. 2.7. WALFORD's finite differences diagram for body length of porgy, *Taius tumifrons*.



第 2.8 図 キダイの成長曲線
$l=60(1-e^{-0.1x})$
Fig. 2.8. Growth curve of porgy.
$l=60(1^{-0.1x})$

2.4.3 加　入　量

加入量の法則は，死亡や成長の法則ほど明白なものではないし，それだけに議論も多い。まず漁獲物を通じてみられる加入の現象をながめてみよう。ある時期に生れた一群の魚は，その群のみについていう限り，補給がないので，死亡によつてその数を一方的に減じてゆく。だから死亡曲線は Fig. 2.2 のようなものでなければならない。ところが実際に観測される漁獲物曲線は，一般に Figs. 2.3, 2.4, 2.5 に示したような，幼稚魚で少なく，ある年令で極大に達し，その後指数函数的に減少する傾向を示す。つまり，海の中の資源全体としてみた時には，右側の指数函数的な部分を，そのまま左に外挿したような形になつているであろうが，漁業の選択性のために，若い或は小さい魚は，充分によく漁獲物の中にあらわれていないのである。これを逆にいえば，若い魚は，成長するにつれて漁獲対象資源に加入してくる，ということになる。もしこの加入が瞬間的に一せいに行なわれるならば，漁獲物曲線は，死亡曲線で，ある年令から左側を切落したような形になるであろう。しかし実際には，ある時間間隔の間に徐々に加入が進行するので，ナイフで切落したような形とはならず，あるなだらかな曲線があらわれる。BARANOV は，このある巾をもつた加入の現象を，瞬間的な加入，いいかえるならば，漁獲物曲線が最少年令 x_c の所で，ナイフで切つたように変化する場合で近似している。このことは当然なにがしかの誤差を生じさせるわけであるが，3.2.1.1 でのべるように，加入の年令の巾が，全体の年令の巾にくらべて著しく大きくないかぎり，それほど重大な影響はもつていない。

ところで，なぜ若令魚或は小型魚が充分に漁獲の対象に，はいらないかという点について考えてみよう。原因は，大ざつぱにいつて二つにわけて考えられる。一つは全く漁具の性質によるもので，たとえば網目が

大きすぎて，小型の魚が逃げてしまうとか，釣漁具の場合でも，餌や針が大きすぎるとか，小型魚の食性が異なるために食わない等の理由によつて選択効果のあらわれるためである。先にあげたキダイの例では，現在主として用いられている2寸目の網の選択の限界が 10 cm 附近にあるらしい事(青山，1957a)から考えると，もし多数の1才魚が漁場にいても，あまり漁獲されないだろうという事が考えられる。もう一つは，若年魚が成魚とは異なつた所にすんでいるために，漁獲の対象とならない場合である。北海道の春ニシン漁業は，産卵のために接岸した魚のみを漁獲しているので，性的成熟に達しない小型魚は，当然漁場に現われず漁獲の対象となり得ない。前者の場合には，漁具の種類や構造，たとえば底曳網の網目を変えることによつて，ある漁具では漁獲されなかつた若令魚を，充分に利用できるようにすることも可能である。後者の場合には，漁場を変えないかぎり，どのようにしても若令魚を漁獲することはできない。このことは，一口に加入といつても，それには二つの段階のあることを示している。つまり，ある漁場への加入と，ある特定の漁具に対する加入である。

Beverton and Holt は，このような考え方にもとづいて，漁場への加入の年令 x_r を境にして，pre-recruit phase と post-recruit phase をわけ，さらに post-recruit phase を，漁具に対する加入年令 x_c を境にして，pre-exploited phase と exploited phase にわけている。x_r は魚自体の条件によつてきまるので，一定と考えることができる。一方 x_c は，漁具によつて決定される。たとえば底曳網では，網目をかえると x_c も変化する。勿論漁場への加入も漁具への加入も，ある年令の巾をもつておこるが，これをある年令を境にして一せいにおこると仮定している点では，Baranov の仮定と同じである。

Baranov と Beverton and Holt の加入についてのモデルで，著しくちがつている点は，Baranov が“産卵は継続的に行なわれ，新らしい稚魚群（同じ数の）が継続的にその水域で発生しているもの”と仮定しているのに対して，Beverton and Holt は“単純な資源のモデルの場合では，一定の数の魚が，毎年同じ日に加入する”と仮定している点である。勿論実際の資源では，継続的に発生したり，毎年同一の日に一せいに加入したりする事はあり得ないが，あとでも述べるように，都合のよい事には，定常状態においては，数式の取扱上，この両極端のモデルが，全く同一の式に帰着されるのである。つまり，Beverton and Holt のモデルで，一年を単位として平均してしまつたものが，即ち Baranov のモデルに相当するわけである。したがつて，この一見著しい相違は，特別の場合を除いて，全く問題とならない。

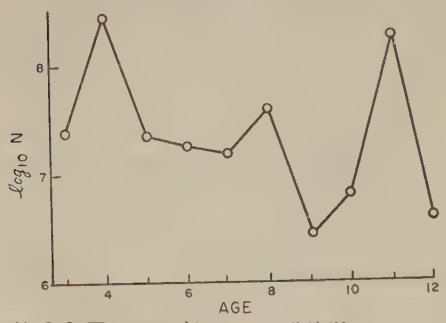
数式的には問題とならないが，ここで実例について少し調べてみよう。たとえば北海道の春ニシンを例にとると，漁期が春のごく短期間に限られており，その漁期ごとに新らしい若年群が加わつてくる。だから1年のうちの特定の時期に加入するということにもなるが，実際は3才の時の漁期から加入がはじまつて，だいたい5才で加入が完了するのであるから，けつして瞬間的ではないし，そもそもこの場合には，F の値が常に一定であるという仮定自身が近似に外ならない。これと同様のことが，日本海沿岸の大羽マイワシ漁業についてもいえる。

底曳の例でいうと，キダイでは，体長組成からみて夏を中心に小型魚が入つてくるようであり（田中，1956b)，資源量指数も一般に夏高くなるので（田中，1957b)，夏を中心にして加入が行なわれるようにもみえるが，一方銘柄別にいうと，最小型の芝がこの時期に特に多くなるようにはみえない（田中，未発表)。夏を中心にといつても，その期間は少なくとも半年以上にわたつている。ソウハチガレイの月別体長組成（渡辺，1956）でみると，だいたい毎年1～4月に，10 cm 或はそれ以下の小型魚の山があらわれている。ほぼ一定の時期に加入が開始されるとみてよい。しかし，この山は，その後1年を通じて次第に高くなつてゆく。つまり，引続いてこの年級が加入していると考えられる。ただし，その間この群の体長はたえず増加しており，したがつて，新加入のあらわれる前と後では，僅か1ケ月の間に，最小体長が 5 cm 程度も小さくなつている。クログチでも同様の傾向がみられる（木部崎・真子，1957)。

これ等の例でわかることは，各年級は，毎年ほぼ一定の時期に加入を開始し，その後かなりの長期（半年乃至数年）にわたつて加入を続けることがわかる。そして，ソウハチガレイの最小体長が，加入の始まる時期に階段的に小さくなることからもわかるように，各年級はかなり独立したものであり，お互にかさなり合うことが少ない。だから，産卵が継続的に行なわれ，加入も継続的に行なわれるという Baranov の仮定は

事実に合つていない。又瞬間的に一せいに加入するという仮定はあくまで近似にすぎない。同じ近似という立場からは Beverton and Holt の考え方の方が，実際の例と対比させてわかりやすい。

加入の問題で最もめんどうな点は，その量についてである。加入量がどのような法則にしたがつて決定されるかは，死亡や成長の場合ほど明らかではない。加入量の問題でまず考えなければならないことは，加入量の，その親の量に対する従属性である。なぜならば，何等かの増殖的処置をとらない場合においては，加入量の人為的制御は，産卵をする親の量を通じて以外に行なえないからである。親の量と子の量の関係については，Ricker (1954) がいろいろ論じているが，可能性としては，親の増加につれて，子の量が比例的以上に増加する場合から，子の量の絶対値がむしろ減ずるような場合まで，ほとんどすべての型が考えられる。特定の魚種について特定の型が推定されたという例はほとんどない。

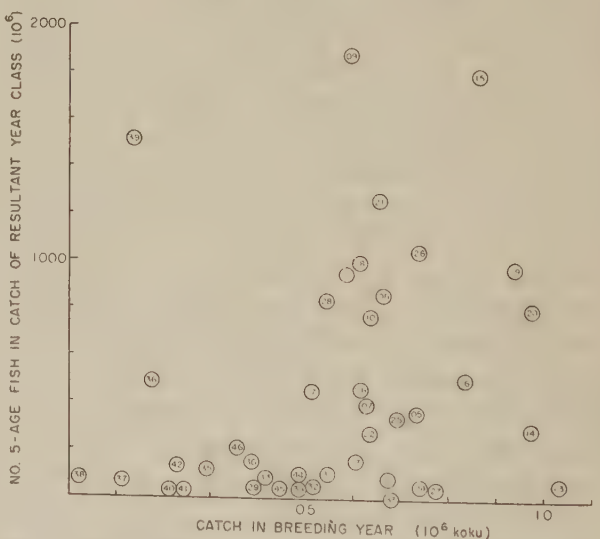


第 2.9 図 1950 年における北海道ニシンの年令組成。Fig. 2.4 と比較して，でこぼこの多い点に注意

Fig. 2.9. Age composition of Hokkaido herring in 1950. Note the irregularity in comparison with Fig. 2.4.

このような状態の場合に，Baranov や Beverton and Holt が，加入量は年々一定であるというモデルを導入したことは，少なくとも海洋性魚類については，実際的な意味のあることである。第一の理由は，底魚類，特にカレイ類では，年々資源に加入して来る量が，比較的安定していると考えられるからである。Figs. 2.4, 2.5 で，年級を異にした各年令間で，等比級数的死亡法則がみられたということは，年々の死亡率が一定であつた事と同時に，各年級の加入量も一定であつた事を示している。たとえば，加入量の変動の大きいニシンで同様のことをしてみると，Fig. 2.9 のようになつて，等比級数的死亡法則はみられなくなる。

もつとも，Figs. 2.4, 2.5 から，年々の加入量が一定であつた事がわかつたとしても，これは漁業自身が安定しており，したがつて資源が安定状態にあつたためであつて，もし漁業を変化させ，資源の構造を著しく変えてしまつた時にも，同じ加入量が得られるかどうかはわからない。だから，厳密にいうためには，親の量と子の量の間の関係を直接求めなければならない。年級変動の大きい事のしられているニシンを例にしてみよう。産卵量の指数としては，その年の漁獲量（重量）をとるのがよかろう。年級の大きさの指数としては，その年級の総漁獲尾数を用いることが考えられるが（佐藤・田中，1949；石田，1952），ここでは 5 才魚の尾数をとることにしよ



第 2.10 図 北海道ニシンの親の漁獲量（右）と，その年生れの子の 5 才魚の時の漁獲尾数の関係。Fig. 3.24 も参照のこと

Fig. 2.10. Correlation between catches of spawner and 5-year-old fish of resultant year class in Hokkaido herring. See also Fig. 3.24. Numerals in circles indicate year of breeding.

う。* このようにして，産卵量と年級の大きさの関係をみると，Fig. 2.10 のようになる。年級変動は著しいが，これが親の量と関連しているとは考えにくい (3.4.1 参照)。現在定説として，ニシンの年級変動は親の量とは無関係に，ある発生初期の環境に支配されていると考えられている（石田，1952；佐藤・田中，1949；川名，1949；畑中，1949)。

ニシンについて示したと同様の関係が，California の sardine についても示されている (Clark and Marr, 1955)。Clark と Marr の間で，親子の関係のあるなしについて，意見が一致していないようであるが，たとえ親と子の量の間に関係があつたとしても，でたらめな変動の大きさに比較して，わずかなものである。その外，Tester (1948) 及び Beverton and Holt (1957) は British Columbia の herring について，Parrish (1956) は haddock について，親の量と子の量の間の関係の薄いことをのべている。

もし子の量が親の量と無関係ならば，漁業を変化させた時の影響を考える場合に，加入量の変化を考慮しなくてもよい事になり，又たとえ加入量の年々の変動が大きくても，長年にわたつて平均化する事ができる (2.5.2, 3.4.2 参照)。つまり，加入量が年々一定であるという仮定のもとで，資源の dynamics を考えることができる。**

もう一つの重要な実際的意義は，加入量を一定として立てた理論は，そのまま，ある与えられた加入量を，その年級の生涯を通じて利用するという立場からの理論となることである。もし加入量が天から与えられたものであるとするならば，我々は，与えられたものを最も有効に利用する以外にないし，その点から Baranov や Beverton and Holt の理論は，すぐさま役に立つのである。

2.5 資源量，漁獲量等の計算

2.5.1 基本的モデルの設定

これまで，Russell の方程式中の各要素について，それ等を数式的に表現するためのモデルについて，具体的資料を参照しつつ，いろいろと検討して来た。そして，Baranov や Beverton and Holt のモデルが，簡単な中にもよく要を得たモデルであることを述べた。これから，これ等のモデルを利用して，資源変動の各要素を具体的に計算するわけであるが，その前に，基本となるモデルを整理し要約しておく必要があろう。これ等のモデルは，本質的には，Baranov，或は Beverton and Holt のモデルと同一のものであるが，若干の点で修正されている。

i) Russell の方程式。微分方程式の形で考え，

$$\frac{dP}{dt}=A+G-D-Y \tag{25.1}$$

とおく。右辺の各項は，いずれも瞬間的変化率となる。

ii) 加入。すべての魚は，年令 x_r になつた時に漁獲可能の状態となるが，実際には x_c に達した時から漁獲の対象となる。このことを式であらわすと，

$$\left.\begin{aligned} F_x&=0 \qquad x<x_c \\ F_x&=F\ (\text{一定})\quad x\geqq x_c \end{aligned}\right\} \tag{25.2}$$

ということになる。加入は1年を通じて継続的に行なわれるものとする。これは，単に理論的展開を容易にするための仮定であるが，不連続な加入を考えても，ほとんど差がないので，特に必要の場合以外は，この点に特にこだわる必要はなかろう。ある年級の加入量は，その年級の魚が x_r に達した時の数であらわすものとし，その量は常に一定で，一年間で R になるものとする。

---

* 川名 (1950) は，親の漁獲尾数と，その年生れの年級からの総漁獲尾数を比較している。親の代の指数としては，正しくは産卵数をとるべきであるから，尾数より重量の方が適当と考える。子の代の指数として，その年級の総漁獲尾数をとることは，ニシンが年級によつて著しく生残率の異なることからいつて，必ずしも適当とは思われない。

** もし将来の漁獲量を予想するという立場に立てば，加入量の年々の変動は大きな問題となる。しかし，海洋漁業の場合，加入量が親の量と無関係であるかぎり，その予想にもとづいて資源を管理しようとしても，ほとんど方法がないであろう。

iii) 死亡法則。漁獲対象となつている資源は，自然死亡係数 M，漁獲係数 F によつて，その数 N を減少する。その状態は，ある特定の年級群について，

$$\frac{1}{N}\frac{dN}{dx}=-(F+M) \tag{25.3}$$

とあらわされる。F 及び M は年令によらず一定とし，ただし x_c 未満の魚では $F=0$ とする。この式を解くと，一般にある年級が年令 x に達した時の尾数は

$$N_x=Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot e^{-(F+M)(x-x_c)} \tag{25.4}$$

となる。なお，年令 x_d に達した魚は，ここですべて死ぬものとする。

iv) 成長法則。体長を l，体重を w であらわし，成長曲線としては，次の二つの型を考える。即ち

a) $$l=l_0+ux, \qquad w=kl^3 \tag{25.5}$$

b) $$l=l_\infty(1-e^{-K(x-x_0)}), \qquad w=w_\infty(1-e^{-K(x-x_0)})^3 \tag{25.6}$$

カレイ類等では，a) で充分よく成長のあらわされる場合が多いが，イワシ類，ニシン等では，一般に b) によらなければならない。しかし，この双方とも，主要な結果においては，それほど大きな差はあらわれまい。

v) 四つの要素の一般的表現。各要素は一般に次の型であらわされるものとする。

加入量は，加入尾数にその時の体重をかけたものである。ここで，加入の時期を，exploited phase への加入の時にとると，その時の尾数を N_c，平均体重を w_c であらわして，

$$A=w_cN_c \tag{25.7}$$

となる。*

総成長量については，各個体別の成長率は dw/dx で与えられるので，これに尾数をかけ，全年令について積分すれば，

$$G=\int_{x_c}^{x_d}\frac{dw}{dx}N_xdx \tag{25.8}$$

となる。ただし，N_x はある瞬間における年令組成をあらわしている。もし相当長期にわたつて死亡率が一定であつたとすると，ある年級の時間的変化の傾向と，ある瞬間での年令組成とは同一のものとなるので(年級変動はないものと仮定しているので)，この積分をある年級の生涯を通じての量と考えることもできる。このことは，あとでてくる D_1, Y でも同様である。

各瞬間に，それぞれの要因によつて死ぬ尾数は，資源量に各死亡係数をかけたものであるが，自然死亡については，さらに x_d に達して死ぬ分を加えなければならない。この量は，その時の平均体重に尾数をかけたものである。結局自然死亡については，

$$\left.\begin{aligned} D&=D_1+D_2\\ D_1&=\int_{x_c}^{x_d}Mw_xN_xdx\\ D_2&=w_dN_d \end{aligned}\right\} \tag{25.9}$$

又漁獲量については，

$$Y=\int_{x_c}^{x_d}Fw_xN_xdx \tag{25.10}$$

---

* 正確にあらわせば，$Adt=w_cN_cdt$ となる。

となる。*

すでに述べた通り (2.2)，$A+G-D$ は自然増加量とよばれるが，これについても一般的表現式を与えておこう（田中，1957a）。自然増加量を V であらわすと，

$$V=A+G-D$$

$$=w_cN_c+\int_{x_c}^{x_d}\frac{dw}{dx}N_xdx-M\int_{x_c}^{x_d}w_xN_xdx-w_dN_d \qquad (25.13)$$

となるが，右辺の第2項は，部分積分によつてかきなおすと，

$$\int_{x_c}^{x_d}\frac{dw}{dx}N_xdx=w_xN_x\Big|_{x_c}^{x_d}-\int_{x_c}^{x_d}w_x\frac{dN}{dx}dx$$

$$=w_dN_d-w_cN_c-\int_{x_c}^{x_d}w_x\frac{dN}{dx}dx$$

となる。したがつて

$$V=-\int_{x_c}^{x_d}w_x\frac{dN}{dx}dx-M\int_{x_c}^{x_d}w_xN_xdx$$

ここでもし

$$\frac{1}{N_x}\frac{dN}{dx}=-Z_{1x}^{**} \qquad (25.14)$$

とおくと，

---

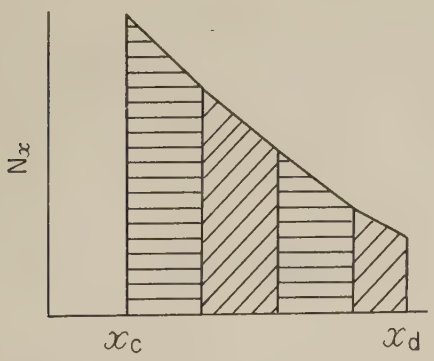
* もし加入が1年のある時期に集中的におこるとすると，各年令群ごとに1年分の値を求め，これを各年令について加え合せることによつて，同様なものを考えることができる。たとえば，

$$Y=\sum_{i=0}^{<(x_d-x_c)}\int_{x_c+i}^{x_c+i+1}Fw_xN_xdx \qquad (25.11)$$

である。ここでもし，年級によつて成長，加入量，死亡率に差がないものとすると，この式は

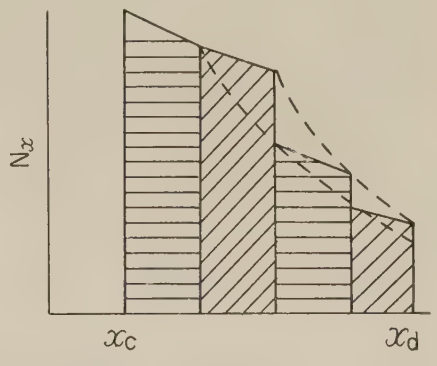
$$Y=\int_{x_c}^{x_d}Fw_xN_xdx \qquad (25.12)$$

とかきなおすことができる。即ち，連続的な加入の場合と全く一致する (Fig. 2.11)。



第 2.11 図　定常状態における年令組成と生存曲線

Fig. 2.11. Age composition and mortality curve in steady state.



第 2.12 図　非定常状態における年令組成と生存曲線

Fig. 2.12. Age composition and mortality curve in non-steady state.

もし年により死亡率に差があつたとすると，この関係はなり立たなくなる (Fig. 2.12)。その差は，曲線とこれに近似させた階段的函数の差であつて，一年分の平均で比較すると，一般に非常に小さい。

** この場合，Z_{1x} はある時間断面における年令組成での減少係数であつて，長年にわたつて Z が一定であつた時は $Z_{1x}=Z$ となるが，一般には一致しない。

$$V=\int_{x_c}^{x_d}(Z_{1x}-M)\,w_xN_xdx \tag{25.15}$$

と簡単にあらわすことができる。定常状態においては，$V=Y$ でなければならないが，これは，その時 $Z_{1x}=Z$ したがつて $Z_{1x}-M=F$ であることから，容易に示される（前頁の脚註参照）。

資源変動の要素ではないが，重要な量である資源量についても，同様に考えておこう。ここで資源量とは，exploited phase の魚の全重量を意味するものとする。したがつて，尾数に平均体重をかけて，全年令範囲 $(x_c\sim x_d)$ について積分すれば得られる。

$$P=\int_{x_c}^{x_d}w_xN_xdx \tag{25.16}$$

とあらわされる。これは，加入が不連続な場合の，定常状態における年間平均資源量に一致する。(25.16) 式を (25.9)，(25.12) 式と対比させ，又 F や M が年令によらず一定であることを考えると，D_1，Y は

$$D_1=MP,\quad Y=FP \tag{25.17}$$

であることがわかる。

2.5.2 四つの要素の計算

2.5.2.1 Bertalanffy の成長式の場合

2.5.1 で与えた一般的表現式に

$$w_x=w_\infty(1-e^{-K(x-x_0)})^3 \tag{25.18}$$

及び

$$N_x=Re^{-M(x_c-x_r)}e^{-(F+M)(x-x_c)} \tag{25.19}$$

を代入して積分を実行すると，具体的に四つの要素の値を求めることができる（田中，1958a）。まず漁獲量 Y をとりあげて考えてみよう。Y をくわしくかくと，

$$\begin{aligned}Y=FP&=F\int_{x_c}^{x_d}w_xN_xdx\\&=w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot F\int_{x_c}^{x_d}(1-e^{-K(x-x_0)})^3e^{-(F+M)(x-x_c)}dx\end{aligned} \tag{25.20}$$

となる。数学的操作の便のために，x を変換して

$$\xi=K(x-x_0) \tag{25.21}$$

とおく。このことは，Bertalanffy の成長式で，$x=x_0$ 即ち体長が 0 である点を年令起算の原点とし，この点からはじめて，体長が極限体長 l_∞ の 0.6321 になるまでの時間を単位として，各個体の年令をはかることを意味している。x を ξ に変換することにともなつて，諸係数も次のように変換される。

$$F'=F/K,\quad M'=M/K,\quad Z'=Z/K=F'+M' \tag{25.22}$$

又，x_r，x_c，x_d に対応する ξ の値を，それぞれ ξ_r，ξ_c，ξ_d であらわす。こうすると，

$$Y=w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot F'e^{Z'\xi_c}\int_{\xi_c}^{\xi_d}(1-e^{-\xi})^3e^{-Z'\xi}d\xi \tag{25.23}$$

とかきなおされる。この式中の積分で，上限を ∞ までのばして考えると，

$$\int_{\xi}^{\infty}(1-e^{-\xi})^3e^{-Z'\xi}d\xi \tag{25.24}$$

となる。ここでさらに

$$y=e^{-\xi},\quad dy=-e^{-\xi}d\xi \tag{25.25}$$

とおくと，

$$\int_0^y(1-y)^3y^{Z'-1}dy=B_y(Z',\ 4) \tag{25.26}$$

と不完全ベータ函数であらわすことができる。しかし，不完全ベータ函数表（Pearson，1934）は手に入りにくい。二項分布表（National Bureau of Standards，1954）を利用するのも一つの方法であるが，それほど便利ではない。

積分を実際に行なうと，

$$\int_{\xi}^{\infty}(1-e^{-\xi})^3e^{-Z'\xi}d\xi=\frac{e^{-Z'\xi}}{Z'}\left(1-\frac{3Z'}{1+Z'}e^{-\xi}+\frac{3Z'}{2+Z'}e^{-2\xi}-\frac{Z}{3+Z'}e^{-3\xi}\right) \tag{25.27}$$

となる。ここで

$$D_0(\xi,\ Z')\equiv\left(1-\frac{3Z'}{1+Z'}e^{-\xi}+\frac{3Z'}{2+Z'}e^{-2\xi}-\frac{Z'}{3+Z'}e^{-3\xi}\right) \tag{25.28}$$

とおくと，この函数を用いて

$$Y=w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot\frac{F'}{Z'}\{D_0(\xi_c,\ Z')-e^{-Z'(\xi_d-\xi_c)}D_0(\xi_d,\ Z')\} \tag{25.29}$$

とあらわされる。さらに，

$$D(\xi_c,\ \xi_d\ ;\ Z')\equiv D_0(\xi_c,\ Z')-e^{-Z'(\xi_d-\xi_c)}D_0(\xi_d,\ Z') \tag{25.30}$$

と定義すると，

$$Y=w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot\frac{F'}{Z'}D(\xi_c,\ \xi_d\ ;\ Z') \tag{25.31}$$

となる。

ここで，Y が x_c から x_d までの間に死ぬもの，即ち $(Y+D_1)$ の F'/Z' 倍であることを思いおこすと (24.5 式参照)，

$$Y+D_1=w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot D(\xi_c,\ \xi_d\ ;\ Z') \tag{25.32}$$

であることがすぐわかる。D_1 は勿論

$$D_1=\frac{M'}{Z'}(Y+D_1) \tag{25.33}$$

である。$D(\xi_c,\ \xi_d\ ;\ Z')$ は死亡量に比例するものであるので，これを死亡量函数とよぶことにしよう。

次に，加入量 A，及び寿命が来て死ぬもの D_2 について考えよう。実は A も D_2 も D_0—函数であらわされるのである。まず加入量についてみると，

$$\begin{aligned}A&=w_cN_c=w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot(1-e^{-K(x_c-x_0)})^3\\&=w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot(1-e^{-\xi})^3\end{aligned} \tag{25.34}$$

しかるに，

$$D_0(\xi,\ \infty)=(1-3e^{-\xi}+3e^{-2\xi}-e^{-3\xi})=(1-e^{-\xi})^3 \tag{25.35}$$

であるから，

$$A=w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot D_0(\xi_c,\ \infty) \tag{25.36}$$

である。同様に D_2 については，

$$\begin{aligned}D_2&=w_dN_d=w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot(1-e^{-K(x_d-x_c)})^3e^{-(F+M)(x_d-x_c)}\\&=w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot e^{-Z'(\xi_d-\xi_c)}D_0(\xi_d,\ \infty)\end{aligned} \tag{25.37}$$

となる。

最後に成長量については，

$$\begin{aligned}G&=\int_{x_c}^{x_d}\frac{dw}{dx}N_xdx\\&=w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot 3K\int_{x_c}^{x_d}e^{-K(x-x_0)}(1-e^{-K(x-x_0)})^2e^{-(F+M)(x-x_c)}dx\\&=w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot 3e^{Z'\xi_c}\int_{\xi_c}^{\xi_d}(1-e^{-\xi})^2e^{-(1+Z')\xi}d\xi\end{aligned} \tag{25.38}$$

となるので，これを実際に積分してもよいが，定常状態において

$$A+G-(D_1+D_2)-Y=0 \tag{25.39}$$

であることを考えると，

$$G=Y+D_1+D_2-A \tag{25.40}$$

として，今までに得られた結果から求めることもできる。即ち，

$$G=w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot\{D_0(\xi_c,\ Z')-e^{Z'-(\xi_d-\xi_c)}D_0(\xi_d,\ Z') \\ +e^{-Z'(\xi_d-\xi_c)}D_0(\xi_d,\ \infty)-D_0(\xi_c,\ \infty)\} \tag{25.41}$$

$$=w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot\{(D_0(\xi_c,\ Z')-D_0(\xi_c,\ \infty)) \\ -e^{-Z'(\xi_d-\xi_c)}(D_0(\xi_d,\ Z')-D_0(\xi_d,\ \infty))\} \tag{25.42}$$

である。ここで

$$G_0(\xi,\ Z')\equiv D_0(\xi,\ Z')-D_0(\xi,\ \infty) \tag{25.43}$$

とし，又

$$G(\xi_c,\ \xi_d\ ;\ Z')\equiv 3e^{Z'\xi_c}\int_{\xi_c}^{\xi_d}(1-e^{-\xi})^2e^{-(1+Z')\xi}d\xi$$

$$=G_0(\xi_c,\ Z')-e^{-Z'(\xi_d-\xi_c)}G_0(\xi_d,\ Z') \tag{25.44}$$

と定義すると，

$$G=w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot G(\xi_c,\ \xi_d\ ;\ Z') \tag{25.45}$$

となる。(25.44) 式で定義される函数を成長量函数とよぶことにする。

最後に資源量についても求めておく必要がある。しかし，これは特に計算しなくても，

$$P=\frac{1}{Z}(Y+D_1)^* \tag{25.46}$$

の関係によつて容易にもとめられる。

以上で Russell の方程式の四つの要素のすべてが計算されたことになる。ここで注意すべきことは，各要素とも，共通に $w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}$ という因子を含んでおり，この中には Z' が含まれておらず，各要素ごとに変る部分は，ξ_c, ξ_d, 及び Z', 又は F', M' だけの函数で w_∞ や R を含んでいないことである。だから，もし w_∞ や R が変化しても，Z' が変らないかぎり，各要素の相対的な関係には，なんの変化もおこらず，又 Z' の変化の影響をみる時には，共通の因子 $w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}$ は無視して考えることができる。このことは実用上大きな利点をもつている。たとえば，年々 R が著しく変化している場合でも，この変化が親の量と無関係におこつているかぎり，Y の長年にわたつての平均は，共通部分と変化する部分が切りはなされて，

$$\bar{Y}=w_\infty\bar{R}e^{-M(x_c-x_r)}\cdot\frac{F'}{Z'}D(\xi_c,\ \xi_d\ ;\ Z') \tag{25.47}$$

と，R の平均であらわされる。Z を変化させた時の最大漁獲量（平均として）は，R の変化とは無関係に，$\frac{F'}{Z'}D(\xi_c,\ \xi_d\ ;\ Z')$ のみで決定される。

各要素ごとに変化する部分は，すべて $D_0(\xi,\ Z')$ によつてあらわされるが，この数値は，田中 (1958a) によつて計算され，表になつており，本論文の巻末にも再録されている（付録参照）。この表は充分に細かくはないが，だいたいの役に立つし，表によらずに $D_0(\xi,\ Z')$ の値を計算するにしても，それほど大変な計算ではない。

2.5.2.2 直線的成長の場合

もし体長の成長がほとんど直線的であると，Bertalanffy の成長式での K の値が著しく小さくなり，l_∞ 或は w_∞ が著しく大きくなる。そしてこの事は，これ等のパラメタの推定誤差を必然的に大きくする。F', M' の値も大きくなつて，計算がかえつてめんどうになる。このような場合には，むしろ Baranov のように直線的成長式を用いた方がよかろう。

Bertalanffy の式で，K が小さいとすると，

$$l=l_\infty(1-e^{-K(x-x_0)})$$

$$\fallingdotseq l_\infty K(x-x_0) \tag{25.48}$$

---

* Z' ではなく，Z で割る点に注意。

となる。これをかきなおすと，

$$l=l_\infty K(x_c-x_0)+l_\infty K(x-x_c) \tag{25.49}$$

と一般の直線式になる。ここで第1項は，資源に加入する時の体長 l_c であり，$l_\infty K$ は1年間の成長量 u をあらわしている。体重は l の3乗に比例するものとすると

$$\begin{aligned} w&=kl^3=kl_\infty{}^3K^3(x-x_0)^3 \\ &=w_\infty K^3(x-x_0)^3 \end{aligned} \tag{25.50}$$

となる。資源量 P はしたがつて

$$\begin{aligned} P&=\int_{x_c}^{x_d} w_x N_x dx \\ &=w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot K^3\int_{x_c}^{x_d}(x-x_0)^3e^{-Z(x-x_c)}dx \end{aligned} \tag{25.51}$$

ここで，

$$\lambda=x-x_0, \qquad w_\infty K^3=\gamma \tag{25.52}$$

とおく。γ は $\lambda=1$ の時の体長に相当する。そうすると，

$$P=\gamma Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot e^{Z\lambda_c}\int_{\lambda_c}^{\lambda_d}\lambda^3e^{-Z\lambda}d\lambda \tag{25.53}$$

となる。この式の中の積分で，その上限を ∞ までのばしたものを，山中 (1954c) は yield function とよんでいる。これは，

$$\Omega(Z,\ \lambda)=\int_\lambda^\infty \lambda^3e^{-Z\lambda}d\lambda=e^{-Z\lambda}\frac{\lambda^3}{Z}\left\{1+\frac{3}{2\lambda}+\frac{6}{(2\lambda)^2}+\frac{6}{(2\lambda)^3}\right\} \tag{25.54}$$

とあらわされる。この式を用いると，

$$P=\gamma Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot e^{Z\lambda_c}\{\Omega(Z,\ \lambda_c)-\Omega(Z,\ \lambda_d)\} \tag{25.55}$$

とかくことができる。漁獲量は

$$Y=FP \tag{25.56}$$

である。

2.5.2.3 四つの要素についての数値例

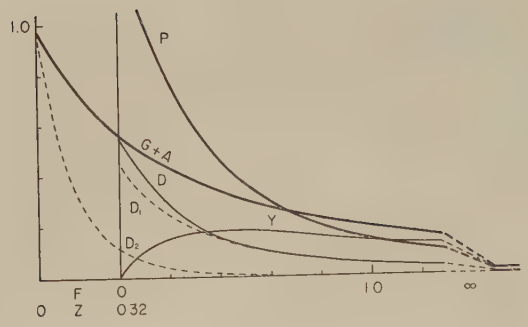
さてここで，具体例をいくつか考えよう。具体例とはいつても，我々の特に興味をもつのは，四つの要素の相対的な大きさの関係であつて，絶対量ではないから，各要素にかかつている共通の因子 $w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}$ については，特に必要な場合以外考慮しないことにする。そうすると，各要素は，ξ_c, ξ_d, Z', 又は F', M' によつて決定されることになる。これ等のうち，ξ_c, ξ_d は，漁業の種類によつて勿論多少の変化をさせることはできるが，個々の魚種による所が大きい。漁業によつて直接変化させられるのは F' である。であるから，F' を独立な変量とし，あとのパラメタについては，ξ_c, ξ_d では，ξ_c～ξ_d の範囲について三つの典型的例を考える。一つは，体長範囲が極限体長 l_∞ に比較して小さいものから大きいものまで広くまたがつている場合，もう一つは，大きい方ばかりにかたよつている場合，そして最後の一つは，小さい方にかた

第 2.1 表 数値例に用いた三種のデータ

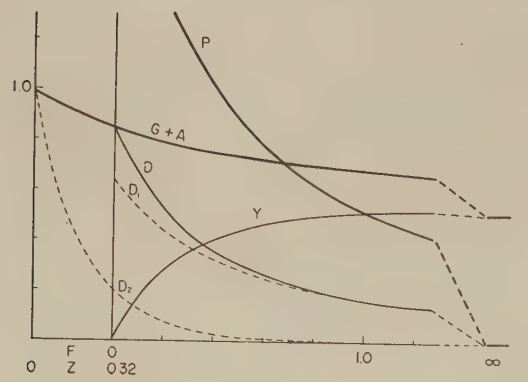
Table 2.1. Data for three examples illustrated in the figures.

魚種 Species	l_∞ cm	K	x_c 年 year	x_d 年 year	ξ_c	ξ_d	$\frac{w_c}{w_\infty}$	$\frac{w_d}{w_\infty}$	M	M'
マイワシ Sardine	22	0.8	0.25	7.0	0.2	5.6	0.006	0.989	0.32	0.4
マイワシ大羽 Sardine (large)	—	—	2.0	7.0	1.6	5.6	0.508	0.989	—	—
キダイ Porgy	60	0.1	1.0	6.0	0.1	0.6	0.009	0.092	0.2	2.0

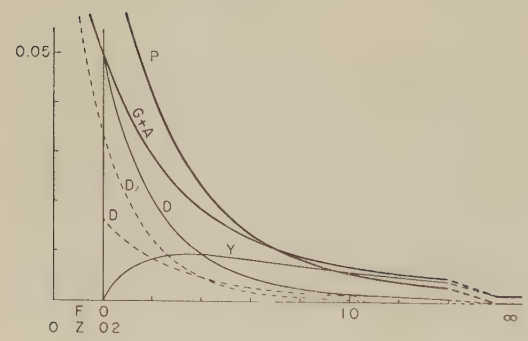
自然死亡係数は，各魚種について，適当に与えたものである。
Values of natural mortality are properly given to each species.



(A)



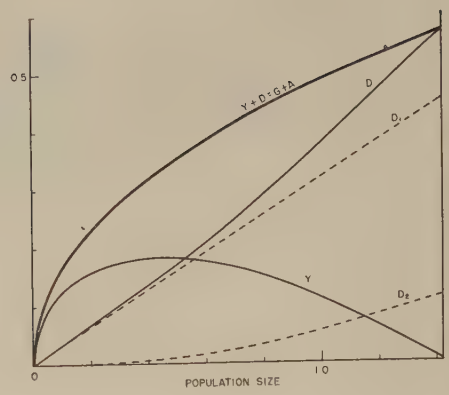
(B)



(C)

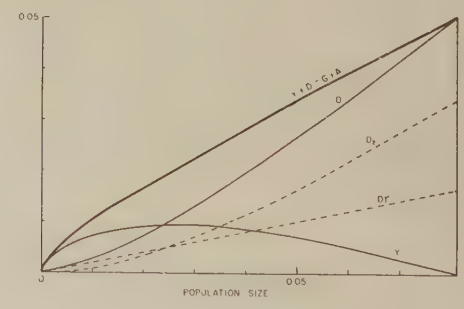
第 2.13 図 漁獲係数 F に対して示した，Russell の方程式の各項の値。(A)，(B)，(C) は，それぞれ Table 2.1 のマイワシ，マイワシ大羽及びキダイに対応している

Fig. 2.13. Value of each term of Russell's equation and population size illustrated against fishing coefficient F. Constant is omitted for all quantities. (A), (B) and (C) are pertinent to sardine in general, large-sized sardine and porgy in Table 2.1, respectively.



(A)

(B)



(C)

第 2.14 図 資源の大きさ P に対して示した Russell の方程式の各項の値。(A)，(B)，(C) は Fig. 2.13 に同じ

Fig. 2.14. Values of each term of Russell's equation illustrated against population biomass P. (A), (B) and (C) are pertinent to the same fishes as in Fig. 2.13.

よつている場合である。M については，魚種ごとに適当な値を仮定した。実際に用いた数値は Table 2.1 に示されている。

いろいろな量を，漁獲係数 F の函数として示すと，Fig. 2.13 のようになる。量的差をのぞいて，三つの場合とも同じ傾向を示している。漁獲が強化され，F が大きくなると，資源量 P が急激に減少するのがみられる。しかし，F がある程度大きくなると，その減少傾向はゆるやかになる。D_1, D_2 も同様の傾向を示す。特に D_2 は，F が大きくなると，事実上 0 となつてしまう。これは，漁獲が強くて死亡率が高い時には，天寿をまつとうする魚はほとんどなくなるはずであるから当然である。負の項 D に対して，正の項 $G+A$ をみると，これも F の増加につれて減少するが，D に比較するとはるかにゆるやかである。ここでは，加入量 A は一定とおいているので，G の変化傾向は，$G+A$ のそれと全く同じものである。F が無限大になると，資源量は 0 となり，G も 0 となるから，この点における $G+A$ の値は，A の値そのものに外ならない。ここで，マイワシ及びキダイの例（ξ_c の小さい場合）では A が非常に小さく，マイワシ大羽の例（ξ_c が大きい）では，A が著しく高い点に注目すべきである。

$G+A$ と D_1+D_2 の差が余剰部分（自然増加量）であり，定常状態における漁獲量 Y である。F に対する Y の曲線については，2.5.3 でさらにくわしく吟味するが，一般的には，最初急に上昇し，のちしだいに平らになつて，ある点で極大に達し，その後減少して，F が無限大の点で A に等しくなるような曲線を示す。ここでも，マイワシ大羽では A が著しく大きかつた事と関連して，Y の極大点が F の非常に高い点にあり，実質的には，ほとんど単調増大の曲線を与えている事が注目される。事実 x_c, M をもう少し大きくすると，完全に単調増大の曲線が得られる。

2.3 で述べた事と関連させると，横軸を F のかわりに資源量 P にとつて，各種の値を図示することは興味あることのように思われる。この関係は，Fig. 2.13 と同じ例について，Fig. 2.14 に示してある。* $G+A$ は最初急に，のち次第にゆるやかになる増加傾向を示す。A は一定であるから，この傾向は即ち G の傾向をあらわしている。$P=0$ の点における $G+A$ の値が即ち A の値である。自然死亡の方は，D_1 は直線的，D_2 は加速度的増加傾向を示している。したがつて，全体の $D(=D_1+D_2)$ も加速度的増加をすることになる。$G+A$ と D の差が自然増加量であり，漁獲量 Y である。正の項の $G+A$ と，負の項の D の，この相反する増加傾向（上に対して凸と凹）のために，D はおそかれはやかれ $G+A$ と交わり，さらに高くなる。$G+A$ と D が交わる点以上に P が増加したとすると，漁獲が行なわれない時でも，負の項の方が大きくなり，P はこの点まで引もどされてしまう。この点は，漁獲のない時における平衡点であり，したがつて，最大資源量の点である。自然増加量又は Y は，ある中間の P の所で極大を示し，P の大きい所，小さい所では低い値を与える。$P=P_{\max}$ では $Y=0$, $P=0$ では $Y=A$ である。マイワシ大羽の場合には，P の小さいほど Y が高くなるような傾向があらわれている。ここでの Y の曲線は，(23.1) 式における $f(P)$ に相当するものである。この点については，さらに 2.6 でくわしく検討する。

2.5.3 漁獲係数 F と漁獲量の関係

漁獲の強さを変化させると，総漁獲量がどのように変化するかということは，水産資源学の最も直接的なテーマである。古くからこの問題は，多くの人の興味の中心であり，Baranov (1918) や Thompson and Bell (1934) などの古典にも，この関係を与える図が示されている。2.5.2 でも述べたように，これ等の図は，ごく特殊な場合を除いて，ある漁獲の水準で極大を与えるような曲線となる。あまり魚をとりすぎると，乱獲（より強度の漁獲が，かえつて低い漁獲量しか与えないような状態）になるということが説明されるわけである。x_c, x_d, M, K が変化すると，曲線の形がかわり，したがつて最大の漁獲量を与える漁獲の水準，即ち F の値も変化する。これ等のパラメタの値と曲線の形との関係は，重要な問題である。ここで漁獲量（定常状態では自然増加量に外ならない）について，さらにくわしく検討してみよう。

---

* 考え方としては，横軸にとるべき資源の大きさは，x_r から x_d までの資源のそれでなければならないであろう。(P は x_c から x_d までの資源量である)。しかし x_c を固定して考える場合には，x_r から x_c までの量は，x_c 以上の量とは無関係に一定であるから，実際上は P に対して示せば充分である。

ところで，Bertalanffy の成長式で，規格化された尺度（ξ, F', M' 等）のままで考えると，たとえば F で 0.1～1.5 の範囲は，$K=0.8$ のマイワシでは，F' が 0.125～1.875 となるが，$K=0.1$ のキダイの場合には，F' が 1～15 ということになる。そのために，最も一般的な型で表現することは無駄が多いので，ここでは $K=0$ の場合，即ち成長が直線的な場合だけについて図を示すことにしよう（田中，1954b）。

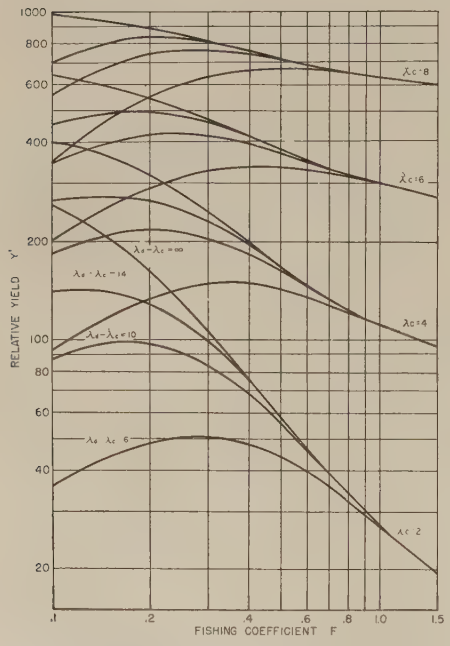
成長が直線的な場合の漁獲量は，(25.55)，(25.56) 式によつて

$$Y=\gamma Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot Fe^{Z\lambda_c}\{\Omega(Z,\ \lambda_c)-\Omega(Z,\ \lambda_d)\}$$

で与えられる。ここで $\gamma Re^{-M(x_c-x_r)}$ は Z の値によらず一定であるから，考慮せず，相対的漁獲量

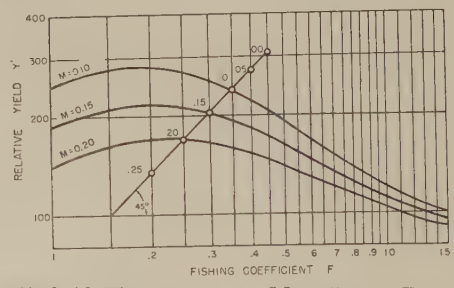
$$Y'=Y/(\gamma Re^{-M(x_c-x_r)}) \qquad (25.57)$$

についてのみ考えることにする。そうすると，含まれるパラメタは，F, M, λ_c, λ_d の四つとなる。自然死亡 $M=0.15$ とおき，λ_c を 2, 4, 6, 8, $\lambda_d-\lambda_c$ を 6, 10, 14, ∞ とそれぞれ 4 通り変化させた場合について，F の 0.1～1.5 の範囲に対して，Y' を示したのが Fig. 2.15 である。この図では，縦軸，横軸とも対数尺になつている。



第 2.15 図 漁獲係数 F と漁獲量との関係。自然死亡係数 $M=0.15$

Fig. 2.15. Relation between fishing coefficient F and yield on the basis of linear growth curve. Natural mortality coefficient M is taken at 0.15.



第 2.16 図 いろいろな M の場合の F と Y' との関係。$\lambda_c=4$, $\lambda_d-\lambda_c=10$. 45° の直線は，ある M から他の M への変換法を示す

Fig. 2.16. Relation between F and Y' for various values of M. $\lambda_c=4$, $\lambda_d-\lambda_c=10$. Straight line across the curves shows a method to transform a curve corresponding to a particular value of M to another on a log-log section paper.

Fig. 2.15 では，M の値を 0.15 に固定してあるが，両軸が対数尺であることを利用すると，Fig. 2.16 に示すように，図の上で簡単に他の M の場合の曲線に変換される。即ち，$Y+D_1$ を x_c と x_d の間での全死亡とすると，

$$Y=\frac{F}{F+M}(Y+D_1) \qquad (25.58)$$

であるが，$Y+D_1$ は Z の函数で，F と M の比には無関係である。横軸の F については，

$$F=\frac{F}{F+M}Z \qquad (25.59)$$

とかくことができる。だからもし Z を与えた上で F と M の比を変化させたとすると，F と Y とは比例的に変化することになる。両軸が対数尺であれば，比例関係は，傾斜 45° の直線であらわされる。したがつて，今ある漁獲量曲線上の任意の点を，この点を通る傾斜 45° の直線に沿つて，F について，たとえば 0.1

だけ左下（又は右上）に移動させたとすると，その点がちょうど M が 0.1 だけ多い（又は少ない）場合の漁獲曲線上の一点となつている。

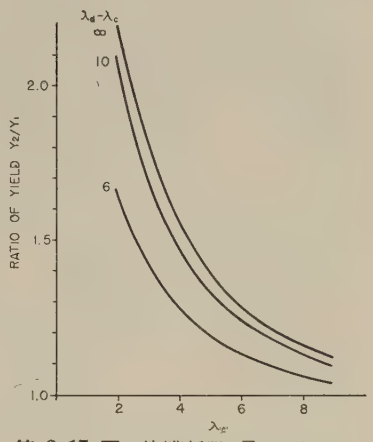
Figs. 2.15, 2.16 から，いろいろな事がわかるが，主な点をまとめると次のようになろう。

a) λ_c, λ_d, M の値の一組に対して，一般にある F の所に Y' の極大点があらわれる。

b) 次のような場合に，極大点は F の大きい方にかたより，極大点をすぎてからの Y' の下り方はゆるやかになる。(1) $\lambda_d-\lambda_c$ が小さい場合，即ち，exploited phase が短かい場合*。ただし F がある程度大きくなると差がなくなる。(2) λ_c が大きい場合，即ち大きくなつてはじめて漁獲されるか，或は資源に加入後の成長のわるい場合。(3) 自然死亡の大きい場合。

c) 上記 (1), (2), (3) の条件が極端になると，極大点はなくなり，Y' の曲線は単調増大となる。

b) の問題は，乱獲や資源管理の面からみて重要な点である。b) のような場合には乱獲になりにくいし，乱獲になつた場合でもそれほど強くはあらわれない。一方これと逆の場合には，乱獲になりやすく，乱獲になると，漁獲量は急激に減少してしまう。だから，このような資源では，特に管理が重要である。1例として，F を 1.0 から 0.5 に縮少した場合に，漁獲量が何倍にふえるかを示すと，Fig. 2.17 のようになる。λ_c が大きい時，$\lambda_d-\lambda_c$ が小さい時には，この値は著しく小さくなることがわかる。



第 2.17 図　漁獲係数 F を 1.0 から 0.5 までさげた時の漁獲量の相対的増加。$M=0.15$

Fig. 2.17. Relative increase of the yield when fishing coefficient F is reduced from 1.0 to 0.5, as calculated from Fig. 2.15. $M=0.15$.

2.5.4　漁獲最少年令 x_c と漁獲量の関係

漁獲量の式 (25.31)，或は (25.55), (25.56) から明らかなように，最初に漁獲の対照になる年令 x_c が変化すると，漁獲量も変化する。この問題は幼稚魚保護の問題であつて，たとえばトロール網の網目と関係して 1.2 でもふれたように，古くから関心の的であつた。理論的な面では，Baranov (1918) がすでに取上げており，Tauti (1935) もこの問題を論じている。しかし，乱獲の問題が，直感的には漁獲努力と漁獲量の関係としてあらわされるので，理論的な面では，とかく F と Y の関係の方が強調されていたきらいがある。最近 Beverton (1953) や Beverton and Holt (1957) が F と x_c とを同等にあつかつて，漁獲量を 2 次元的な表現のもとで論じているのは，すぐれた考えである。

2.5.3 では，F と Y との関係をみたので，ここでは x_c と Y との関係をしらべ，各種のパラメタの影響をみてみよう。ここでは成長式として，Bertalanffy の式を用いることにする。それは，x_c が固定されている場合には，ある程度曲つた成長曲線にも，近似的に直線があてはめられるので，直線式でもだいたいの場合をつくすことができるのに反し，x_c を変化させる場合には，その都度近似的にあてはめた直線を修正しなければならず，又これを固定して考えると，よほど成長曲線がまつすぐでないと，くいちがいがかなり大きくなるからである。K の差によるパラメタの変動範囲のちがいも問題とならない。

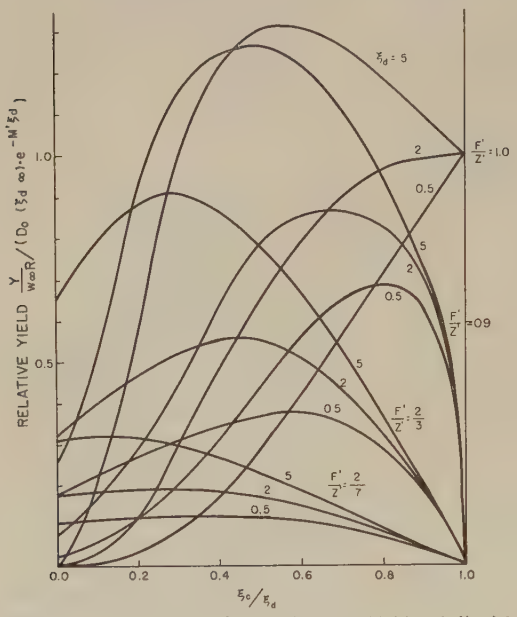
2.5.3 では F を横軸にとつたが，ここでは年令 ξ_c が横軸になり，F', Z' はパラメタとなる。(25.31) 式の常数を左にうつすと，

$$Y'=\frac{Y}{w_\infty R}=\frac{F'}{Z'}\,e^{-M'(\xi_c-\xi_r)}D(\xi_c,\ \xi_d\ ;\ Z') \qquad (25.60)$$

---

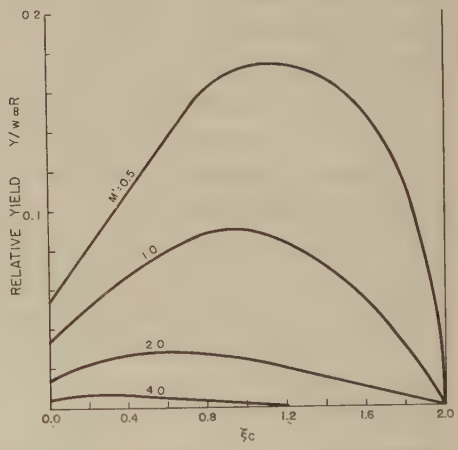
* $\xi_d\to\infty$ の場合に，Fig. 2.15 で極大点があらわれていないが，これは極大点が $F<0.1$ の範囲にあるためである。

となるが，さらに，魚の大きさをそろえるために，ξ_d における体重に比例した量，たとえば，$F_i'=0$ の場合の ξ_d における生体量で割つておく方が比較に便利である。ξ_c も ξ_d で割つて標準化する。このように標準化された量を用いて，x_c と Y との関係を示したのが Fig. 2.18 である。ここでは，パラメタの値は，$\xi_d=0.5, 1.0, 2.0, 5.0$, $M'=1/\xi_d$, $F'/Z'=2/7$, 2/3, 9/10, 1.0 とし，ξ_c は 0 より ξ_d まで変化させてある。自然死亡の差の影響については，$\xi_d=2.0$, $F'=2.0$ の場合について $M'=0.5$, 1.0, 2.0, 4.0 と変化させた場合を，Fig. 2.19 に示す。



第 2.18 図 最少漁獲年令と漁獲量の関係。自然死亡は $M'=1/\xi_d$ と仮定。比較に便利なように両軸とも標準化した尺度で示してある

Fig. 2.18. Relation between minimum exploited age x_c and yield. Natural mortality is assumed as $M'=1/\xi_d$. Scales of both axes are standardised for convenience of comparison.



第 2.19 図 漁獲最少年令と漁獲量の関係に対する自然死亡の影響。$\xi_d=2.0$, $F'=2.0$

Fig. 2.19. Effect of natural mortality on the relation between minimum exploited age and yield. $\xi_d=2.0$, $F'=2.0$.

Figs. 2.18, 2.19 より次の事がわかる。

a) 一般に ξ_c のある値の所で Y が極大となる。

b) 極大を与える ξ_c の値は，次のような場合小さい方にかたよる。(1) ξ_d が大きい場合，即ち高令で成長がおそくなる場合，(2) F' が低い場合，即ち漁獲率が低い場合，(3) M' が高い場合，即ち自然死亡が高い場合。

c) 極端な場合には，極大点がなくなつて，$\xi_c=0$ 又は ξ_d で最大漁獲量が得られる。

F が高い時には，x_c も高くしなければならない事は，重要な点である。一般の漁業では，まず F が強化され，漁獲が頭打になるか，或は乱獲状態がひどくなると，次にはますます網目を小さくして，小型魚をとろうとする傾向がある。このことは，ますます条件をわるくすることが知れる。自然死亡が漁獲係数にくらべて小さい場合には，網目を大きくして，x_c を引あげることは非常に効果的である。

2.5.5 非定常状態について

2.5.3, 2.5.4 で，定常状態について，それぞれ漁獲率及び漁獲最少年令と漁獲量との関係を考えてきた。それ等自身は，乱獲問題や，資源管理問題との関連において，極めて重要な問題であるが，それだけでは必ずしも充分とはいえない。もし乱獲によつて減少した資源を回復させて，より大きな漁獲量を得ようというのであれば，とにかく何等かの方法によつて，それまでに用いられていた漁獲努力の一部を切捨てなければならないし，そのことは，少なくとも規制後の短期間においては，漁業者にかなりの犠牲を強いるものであ

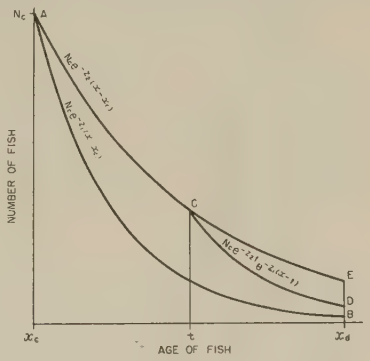
る。であるから，実際問題としては，究極的に到達するであろう状態も勿論重要ではあるが，制限後いかに資源量が増加し，漁獲量が変化してゆくかということも，同様或はそれ以上に重要な事である。変化の過程を非定常状態としてみることが必要である。

非定常状態においても，一般的にいつて，理論的に定常状態と本質的な差はない。2.5.1 の v) で示した式は，そのままここで用いられる。ただ Russell の式で，自然増加と漁獲量とが一致しないこと，したがつて，資源量が変化すること，及びたとえば (25.14) 式での Z_{1x} が Z と一致しないこと，等を注意すればよい。勿論ここで漁業を変化させた時に，成長についてはなんの変化もない事を仮定しているので，非定常状態で問題になるのは，年令組成即ちある瞬間における N_x の値である。漁業の変化としては，漁獲係数 F を変化させる場合，及び漁獲最少年令 x_c を変化させる場合の二様が考えられるが，ここでは前者のみを考えることにする（田中，1954b)。後者については，山中 (1954c) の研究がある。

今時刻 $t=0$ に漁獲係数を F_1 から F_2 に急に変化させたものとする。そうすると，$t=0\sim(x_d-x_c)$ の間のある瞬間における年令組成は，

$$\left.\begin{aligned} N_{xt}&=Re^{-M(x_c-x_r)}e^{-(F_1+M)(x-t)}e^{-(F_2+M)t} \quad (x>t)\\ N_{xt}&=Re^{-M(x_c-x_r)}e^{-(F_2+M)x} \quad (x<t)\end{aligned}\right\} \tag{25.61}$$

となるであろう。これを $F_1<F_2$ の場合について，Fig. 2.20 で説明するならば，$t<0$ においては，AB の状態であり，又 t が充分に大きくなつた所では，ACE の状態となるが，それまでの間では，ACD のような状態があらわれる。そして，C点は $t=0$ では $x=x_c$ の点にあり，以後次第に右に移動して，$t=x_d-x_c$ となつて，$t=0$ 以前に資源中にあつた魚がことごとく死にたえる時期になると，C点は x_d に達して，以後 ACE 曲線となる。



第 2.20 図　漁業の変化後の非定常状態における年令組成。但し $N_c=Re^{-M(x_c-x_r)}$

Fig. 2.20. Age composition in transition period after change of fishing intensity. $N_c=Re^{-M(x_c-x_r)}$.

資源量 P は (25.16) 式によつて

$$P=\int_{x_c}^{x_d} w_xN_xdx$$

であるから，C点で二つにわけて考えると，任意の $t(0<t<x_d-x_c)$ においては

$$\begin{aligned} P_t=&\int_{x_c}^{t} w_xRe^{-M(x_c-x_r)}e^{-(F_2+M)x}dx\\ &+\int_{t}^{x_d} w_xRe^{-M(x_c-x_r)}e^{-(F_1+M)(x-t)}\\ &\times e^{-(F_2+M)t}dx \end{aligned} \tag{25.62}$$

とあらわされる。もし，成長が直線的であるとして，(25.55) 式を用いると，

$$\begin{aligned} P_t=&\gamma Re^{-M(x_c-x_r)}[e^{Z_2\lambda_c}\{\Omega(Z_2,\ \lambda_c)-\Omega(Z_2,\ \lambda_c+t)\}\\ &+e^{(Z_1-Z_2)t}\cdot e^{Z_1\lambda_c}\{\Omega(Z_1,\ \lambda_c+t)-\Omega(Z_1,\ \lambda_d)\}] \end{aligned} \tag{25.63}$$

となる。$t=0$ より前及び以後の定常状態での資源量 P_1，P_2 は

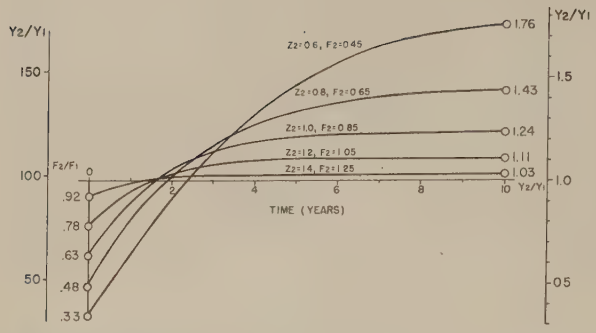
$$\left.\begin{aligned} P_1&=\gamma Re^{-M(x_c-x_r)}e^{Z_1\lambda_c}\{\Omega(Z_1,\ \lambda_c)-\Omega(Z_1,\ \lambda_d)\}\\ P_2&=\gamma Re^{-M(x_c-x_r)}e^{Z_2\lambda_c}\{\Omega(Z_2,\ \lambda_c)-\Omega(Z_2,\ \lambda_d)\}\end{aligned}\right\} \tag{25.64}$$

である。漁獲量は (25.17) によつて，それぞれ

$$\left.\begin{aligned} Y_1&=F_1P_1, \qquad Y_2=F_2P_2\\ Y(t)&=F_2P(t) \qquad (0<t<x_d-x_c)\end{aligned}\right\} \tag{25.65}$$

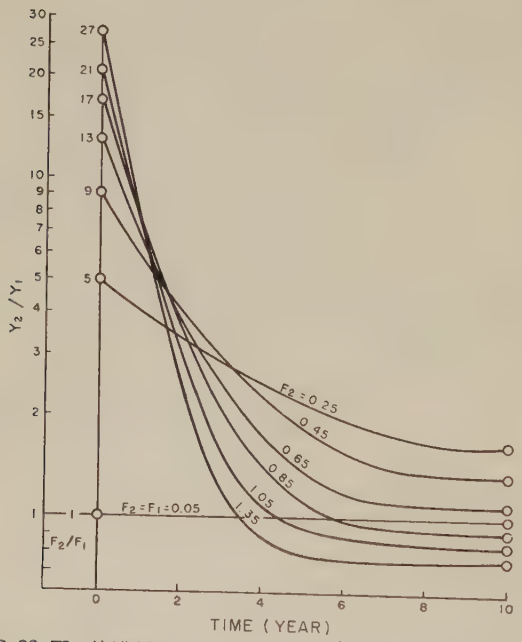
となる。

以上の式によつて，日本海西南海区で漁獲されるソウハチガレイ資源について，簡単に考えてみよう。大内 (1954) 及び渡辺 (1954) によれば，この方面のソウハチガレイは，満1才でほとんど完全に漁獲の対象



第 2.21 図 漁獲係数を急に F_1 から F_2 に減らした時の漁獲量の変化。ソウハチガレイのデータによる
$\lambda_c=4$, $\lambda_d-\lambda_c=10$, $M=0.15$, $F_1=1.35$

Fig. 2.21. Change of yield during the transition period after sudden decrease of fishing coefficient from F_1 to F_2 at $t=0$. $\lambda_c=4$, $\lambda_d-\lambda_c=10$, $M=0.15$ and $F_1=1.35$.



第 2.22 図 漁獲係数が $t=0$ において，急に F_1 から F_2 に増加した時の漁獲量の変化。ソウハチガレイのデータによる。$\lambda_c=4$, $\lambda_d-\lambda_c=10$, $M=0.15$, $F_1=0.05$

Fig. 2.22. Change of yield after sudden increase of fishing coefficient from F_1 to F_2 at $t=0$. $\lambda_c=4$, $\lambda_d-\lambda_c=10$, $M=0.15$ and $F_1=0.05$.

となり，その時の体長は 12 cm 前後である。その後の成長は比較的直線的で，毎年の増加量は約 3 cm である。年令組成から求めた年々の生残率は，かなり小さく，0.2～0.25 で，全減少係数に換算すると，$Z=1.6$～1.5 となる。一方，北海道区水研等（1953）の調査によると，少なくとも満 10 才魚までみられている。以上のデータにもとづいて，$Z_1=1.5$, $\lambda_c=4$, $x_d-x_c=10$ とおき，又自然死亡については，$M=0.15$，したがつて $F_1=1.35$ と仮定した。この状態において，F_1 を F_2 まで下げた時に，漁獲量がいかに変化して行くかを示すと，Fig. 2.21 のようになる。図中には，F_2/F_1, Y_2/Y_1 の値も示してある。ソウハチガレイの例では，加入後の成長がかなりよく，自然死亡係数 M も小さく仮定している上に，F の値が著しく高いため，漁獲係数即ち努力量の減少は，資源量及び漁獲量の回復に，かなり効果的に作用し，努力量を半分以下に引下げた場合でも，だいたい 2 年後には漁獲量はもとの水準に回復し，さらに 4～5 年後には，制限のための一時的な漁獲量の損失をとりもどすことができる。しかし，その後の漁獲量の増加は少く，定常状態でたとえば 24% の増加を得るためには，37%も努力量を引下げなければならない。ただしこれは，総漁獲量についてであつて，努力当漁獲量では著しい改善がみられる。

次に，以上とは逆に努力量を増大させた場合を考えてみよう。データは前と同じであるが，漁獲係数については，$Z_1=0.2$, $F_1=0.05$ とおこう。結果は Fig. 2.22 に示されている。資源量及び漁獲量は，漁業が開始されると同時に急速に減少をはじめ，のち次第に減少はゆるやかになつて，定常状態に近づいてゆく。この傾向は，新らしい定常状態での漁獲量が，前のそれより高い場合でもかわらない。つまり，急に漁獲を強化した場合，新らしい定常状態に達するまでに，資源量は必ず減少し，一たん高くなつた漁獲量も急激に減少するが，これは漁業の行なわれていなかつた時の蓄積が消費されつつあることを示しているのであつて，必ずしも乱獲になつたことを示しているのではない。努力当漁獲量や，総漁獲量が減

少しつつあるという事だけでは，乱獲状態と判断することはできない。乱獲か否かは，定常状態どうしで比較し判断しなければならない。

2.6 資源量と自然増加量の関係

2.6.1 資源における成長と死亡の作用

2.5.2.3 で述べたように，Baranov-Beverton のモデルにしたがつて，自然増加量を計算してみると，V の値が P に対して，logistic 曲線の場合の抛物線とは形こそちがうが，類似の中高の曲線を与えることは，興味深いことである。Logistic 曲線を与える時の微分方程式は (23.1)，(23.2) で示した通り，

$$\frac{dP}{dt}=aP-bP^2$$

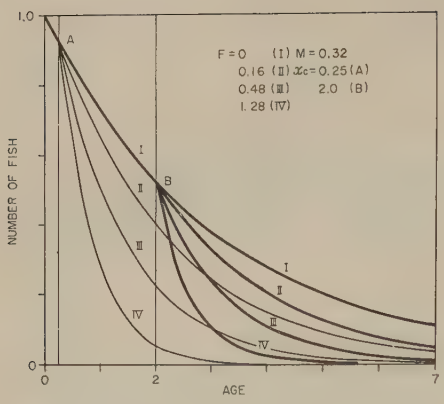
である。そして，これは資源が潜在的にもつている最大増加量 aP が，密度の圧力(環境抵抗)のためにさえぎられて，bP^2 だけ少なくなるということを示している。これに対して，Fig. 2.14 で示した P と Y との関係は複雑であり，そのような曲線の得られる機構については，全く異なつた説明がなされる。ここでは，密度の効果が全く問題にされておらず (加入量の点では必ずしもそうとはいえないが)，ただ機械的に (まさに機械的に！) 計算されているだけである。しかし，問題が，増加量 $G+A$ と自然死亡量 D のバランスにあるという点においては，両者でかわりがない。

先に述べたように，D は P の増加に対して加速度的に増大するが，一方 $G+A$ の方は，増大速度が P の大きいほど小さい。したがつて，P の変化に対して，自然増加 V の変化をみると，P が小さい間は G の増大の効果が主としてきくが，P が大きくなると，自然死亡の増大が，G の効果を減殺し，V (即ち Y) の極大点をすぎてからは，G そのものでは多少とも増大しているにもかかわらず，V の値が減少するようになる。そして，ある P の段階では，すべての増加分 $G+A$ が，自然死亡を補償して，ふくれあがつた資源量を維持するためにのみ消費されて，余剰を生ずる余裕の全くない状態となる。このために，人間による間引が全く行なわれなくても，魚の資源は無制限に増大することができない。

さて，P と V (又は Y) との関係は，$G+A$ や D の曲線の形に依存しているわけであるが，この事についてもう少し考えてみよう (田中，1958a)。D のうち，D_1 が P に比例することは，最初からの仮定であり，又理由のあることである。(25.17) に示した通り，$D_1=MP$ である。D_2 は寿命を全うして死ぬものの量であり，成長曲線の変化を考えないかぎり，x_d まで生残る尾数に比例する。そして，F の変化によつて，資源量が変化する場合に，最も大きな変化率を示すのが，漁業の影響を最も長くうけた，この最高年令のものであることを考えれば，D_2 の量が資源の変化によつて大きく変化するのは当然である。もつとも，全減少係数がある程度大きくなるか，或は寿命が適当に長い場合には，D_2 そのものがほとんど問題にならなくなる。

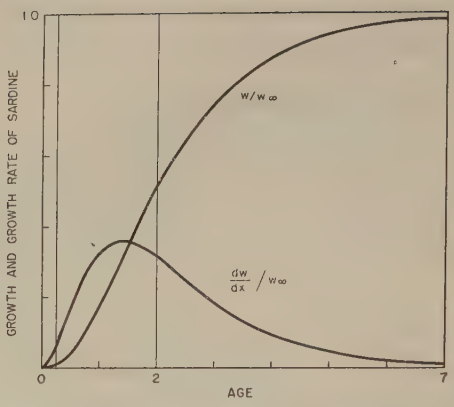
正の項のうち，加入量 A については，資源量に無関係に一定であると仮定している。このことの実際的意味については，2.4.3 ですでに述べた。ところで，この加入量が一定であるという一見ありふれた仮定が，自然増加量について考える場合に重大な意味をもつているのである。すでに 2.1 で述べたように，魚の資源は自らを維持するために，強い弾力性をもつているわけであるが，密度が変化しても，成長も自然死亡も変しないという固定的なモデルの中で，外力に対する補償効果を一手に引受けているのが，この加入量における極端な補償性なのである。この点が，海の魚の資源における生産と，他の昆虫などの個体群におけるそれとの間における考え方の著しい相違点である。

もう一つの正の項 G についてみると，これは資源の年令組成と成長曲線に関連している。Z の変化にともなう年令組成の変化，及び成長曲線，成長速度を，Table 2.1 のマイワシの例について，Figs. 2.23, 2.24 に示した。この二つの図から，Mw_xN_x として自然死亡 D_1 を，$\frac{dw}{dx}N_x$ として成長量 G を得る。これ等の図でみると，F が小さくなつた時の資源尾数 N_x の増大は，高年魚で大きいことがわかる。そして，Mw_x も高年魚で高くなる。これに対して，dw/dx は若年群で高く，高年群で低い。そのために，総体としての資源量の増大にともない，これに比例して，或はそれ以上に増大する自然死亡は，成長量の増大ではお



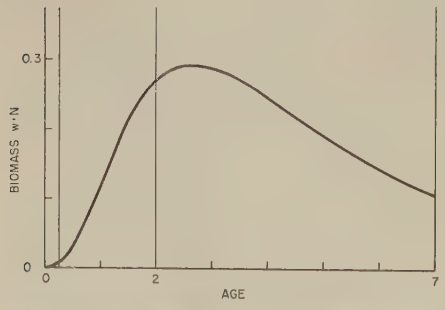
第 2.23 図 いろいろな F 及び x_c に対して示した魚の数の生存曲線

Fig. 2.23. Mortality curves for various values of F and x_c. (Based on the data for sardine).



第 2.24 図 マイワシ体重の成長曲線及び成長速度

Fig. 2.24. Growth curve and rate. (Based on the data for sardine).



第 2.25 図 漁獲の行なわれない時のマイワシのある年級群の生体量の変化

Fig. 2.25. Change in biomass of a year class during its life when no fish is caught. (Based on the data for sardine).

ぎなえないことになる。この関係は Fig. 2.25 で一そうはつきりする。この図は，漁業の行なわれない時に，成長によつて個体重量をまし，一方自然死亡によつて尾数を減少させながら，ある一つの年級群が，その一生の間にたどる生体量の変化を示したものである。若いうちは dw/dx が Mw_x より大きいために，生産によつて生体量の蓄積が行なわれるが，ある年令で増加と減少がバランスするようになり，さらにそれ以上の年令になると，成長がほとんどとまつてしまうので，生体量は縮少を続ける。その意味で，極大点を過ぎた高令魚は，全く消費的である。*

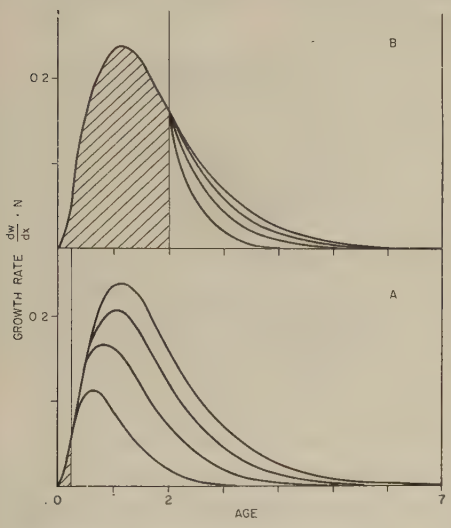
以上の論議から，P と Y との関係は，本質的には，死亡曲線（或は年令組成）と成長曲線の形に依存しているということがわかる。高令魚になるほど体重そのものは増加するが，成長速度や成長率 $\frac{dw}{dx}\Big/w$ が小さくなること，及び指数函数的年令組成の結果として，すでに示したような P と Y との関係が得られたのである。成長曲線が Bertalanffy の曲線以外のどんな形をとるにしても，死亡法則が指数函数的であるならば，少なくとも高年での成長率が若年魚のそれを下まわらないようなものでないかぎり，おそかれはやかれ，成長量と自然死亡量が釣合う時がやつてくる。この二者が釣合うことのない成長曲線の一つの例は，指数函数的成長である。その場合には，2.4.2 でものべたように，資源は安定性を失なつて，消滅するか，さもなければ海中にあふれてしまうであろう。

体重の成長曲線がS字状になることの理由は，Bertalanffy の微分方程式からあきらかである。この微

* 消費的という言葉は少し酷かもしれない。なぜならば，このような高令魚は，次の資源を再生産するポテンシャルとして重要であるからである。しかし，もし親魚の量のある範囲内においては，親魚量とそれからの加入量の間に関係がないならば，少なくともその範囲内で議論するかぎり，このことは正しい。又最大生体量に達する以前に，充分に再生産活動を行なうような魚（マイワシの例では，最大の生体量は2才の年の後半にあるが，大部分の魚は，それまでに少なくとも1回は産卵しているであろう）では，消費的という言葉はそのまま適用できるかもしれない。

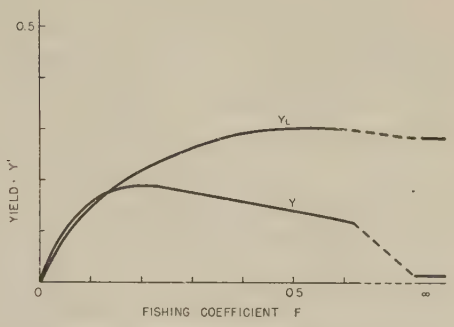
分方程式を Russell の方程式に代入して考えると，個体群全体としての負の項は，個体ごとの異化作用の項と，死亡の項であらわされ，これ等はいずれも，個体群の生体量に比例したものと考えることができる。一方正の項は加入及び同化作用の項であるが，加入量は一定としているので，変化し得る項は同化作用の項のみである。同一の生体量に対して，同化作用の項を相対的に大きくするには，個体群を構成している個体の大きさをなるべく小さくすればよい。しかし，このような調節を漁業を通じて行なう時，ややもすると，生体量そのものを減少させて，正と負の項の相対的率の改善を無意味なものとしてしまうので，ここから，選択的漁獲を工夫するという問題が生ずる。

たとえば Fig. 2.26 のAとBを比較すると，Bの方ではその成長量の大部分が漁業によつて利用される以前の魚によつて支持されており，漁業はむしろ完成されたものを利用しているといつてもよい。だから，このような利用のし方においては，加入量が著しく高く (Fig. 2.14–B) 漁獲を強化することによつて，個体群としての成長量（加入量＋資源の成長量）を維持したまま，生体量をへらして，負の項を小さくさせることができる。一方 Fig. 2.26 のAの方では，漁獲を強化すると，生体量がへると同時に成長量もへつてしまう。漁業から保護されている部分の成長量（加入量）はほとんど問題とならない (Fig. 2.14–A)。そしてこの結果として，Fig. 2.27 に示すように，BにおいてはAにくらべて，最大の漁獲量 Y を与える F の値が非常に高いばかりでなく，Y の値そのものも A より高い水準にあるのである。



第 2.26 図　年令に対して示した成長による生産量。Aはマイワシ，Bはマイワシ大羽，斜線の部分は，漁業から保護された生産量

Fig. 2.26. Production by growth as function of age illustrated for various values of F and x_c. In A, x_c= 0.25; in B, x_c=2.0. See also Fig. 2.23. Fish younger than two-age are most productive and protected from large sardine fisheries.



第 2.27 図　マイワシ（Y）とマイワシ大羽（Y_L）の漁獲量の比較。縦軸は相対的尺度で示してあるが，Y と Y_L は同一の尺度で示してあるので，そのまま比較される

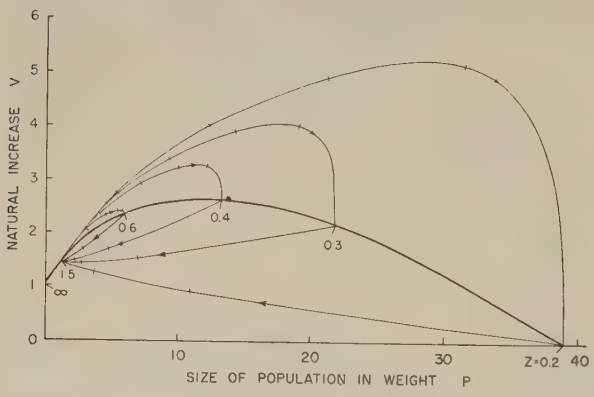
Fig. 2.27. Comparison between catch in two cases of which x_c is either 0.25 (Y) or 2.0 (Y_L), respectively.

定常状態で考えて，最も好ましい選択曲線は，Fig. 2.25 から考えられる。F=0 即ち漁業の行なわれていない時に，ある年級群の生体量の変化は，一つの極大点をもつた曲線によつて示されるが，この極大値こそ，その年級の示し得る最高の蓄積量である。だから，もしこの極大点に達したとたんに，必要な種だけを除いて，全個体をとりあげてしまうならば，最高の漁獲があげられるはずである。人間が生産の大部分を管理している畜産業や養殖業では，実際にこの考えが受入れられている (Holt, 1958)。

漁業においてこのことを実行するのは，多くの場合困難である。というのは，2.4.1 でのべたように，一般に漁業における間引が，その機構からいつて，密度比例的と考えられるからである。即ち1万尾から100尾を間引くのと，100尾から1尾を間引くのとでは，全く同じだけの努力を必要とする。したがつて一瞬に

とりつくしてしまうためには，無限に多くの努力を必要とするし，そこまでいかなくても，ごく短期間に徹底的にとりつくすということは，経済的にいつて，けつして漁業者に有利なことではない。実行可能な範囲で，資源を有効に利用するには，ある年級でその生体量が極大に達する前から漁獲をはじめねばならない。Fig. 2.18 で示したように，最大の漁獲を得るために漁業を開始しなければならない年令 x_c は，F の値によつて変化し，F が小さい時には x_c も小さく，F が大きくなると，最大生体量を与える年令に漸進的に近づいてゆく。Beverton (1953) は，このことからして eumetric fishing という考え方を提案している。これは，ある与えられた F に対して最大の漁獲を与えるような x_c をもつた漁業のことである。

トロール網の選択曲線は，x_c のみで決定されるが，たとえばワカサギ漁業のように，ある年級魚だけを季節をおいて漁獲するような場合には，解禁日を決定するだけでなく，努力の時間的配分をかえることによつて，ほとんど任意の選択曲線を与えることができよう。加藤 (1954) は，八郎潟でのワカサギの成長が，9月中，下旬から急によくなることの理由として，漁業の間引によつて密度がうすめられるためではないかと考えているが，もしこのような効果があれば，このことも考慮に入れて，より複雑な型での合理的選択漁業，それによる湖の生産力の有効利用を考えることができるであろう。



第 2.28 図 資源の大きさに対して示した自然増加量。中央の太線は定常状態における関係を示す。この線の上側は F をへらした時，下側は F をふやした時の非定常状態での関係を示す。曲線上の目盛は，F をへらした場合については，t=2, 4, 6, 8 年，F をふやした場合については t=1, 2 年の位置をあらわす。両軸は加入量 ($w_{x_c}R$) 当りで示してある。λ_c=4, $\lambda_d-\lambda_c$=10, M=0.2

Fig. 2.28. Natural increase shown as function of population size. Bold line shows natural increase in steady state, numerals on the line indicate the values of Z, total decrease coefficient, at the point. Curves in transition state are illustrated by thin lines for the cases of decreased fishing intensity (upper part) and increased one (lower part). Nodes on the thin lines indicate points for 2, 4, 6 and 8 years after change in reduced fishery and for 1 and 2 years after change in extended fishery. Scales of both axes are shown in terms of weight of recruit, $w_{x_c}R$. Parameters are put as follows: λ_c=4, $\lambda_d-\lambda_c$=10, M=0.2.

2.6.2 Sigmoid 曲線との比較

2.5.2 では，Beverton and Holt のモデルを用いて，資源量 P と自然増加量 V の関係を示し，2.6.1 では，そのような曲線の生ずるメカニズムについて考察した。ここでは，これ等の結果を，2.3 でのべた sigmoid 曲線の場合と比較し，sigmoid 曲線による理論における問題点を具体的に示したいと思う。

2.6.2.1 定常状態について

Fig. 2.28 には，2.5.5 で用いたと同じソウハチガレイのデータを用いて，成長を直線的とした時の，定常状態における P と V の関係が，太線で示してある（式 25.55, 25.56)。データを再録すれば，λ_c=4, x_d-x_c=10, Z=1.5 である。自然死亡係数 M=0.2 と仮定する。曲線の全体的傾向は，Fig. 2.14 の場合と同様である。この曲線を logistic 曲線の場合の抛物線と比較した時に，最も目につく差は，曲線の山が左にかたよつていること，及び P=0 の点で V=0 とならない事である。このことは実際的意味をもつている。抛物線型の自然増加曲線

$$V=aP-bP^2$$

では，V の最大となる点は，最大の P のちようど 1/2 の所にあり，又最大の自然増加率 (V/P) は，P=0 の点であらわれて，その値は a である。だから漁獲率（瞬間率で考えれば F) が a より大きくなると，資源は潰滅してしまう。ところで，現実には，努力当漁獲量（P に比例するものと考えて）が漁業開始当時の

1/10 以下にもなつていながら，それでもなお，強力な漁業の圧力のもとで，定常状態を保つている例（東海のキダイなど）がいくつかあることを考えると，P の小さい所での弾力性が，logistic 曲線の場合よりもはるかに強いのではないかと想像される。Fig. 2.28 で示したような形の方がよく現実に合つているように思われる。もつとも，P の軸上で，右側ほど密度が高く，左側ほど密度が低いことから考えると，加入量や成長曲線，自然死亡係数が，密度によつて変化し得る場合においては，より左右対称な形になるかもしれない。

2.6.2.2 漁獲係数が急に F_1 から F_2 に変化した場合

次に，非定常状態について考えてみよう。定常状態においては，傾向的には logistic 曲線理論がなり立つているようにみえたが，非定常状態においては，logistc 曲線理論のように，定常状態における曲線に沿つて変化が進行していくであろうか。

先に 2.5.5 で述べた様に，$t=0$ で急に漁獲係数が F_1 から F_2 に変化すると，$t=0$ 以前に加入した魚が死にたえてしまうまで，年令組成中に屈曲点があらわれる。この点で，資源を高令群と若群にわけて考えると，自然増加量は，(25.15) より

$$V=F_2\int_{x_c}^{x_c+t} w_x N_x\,dx+F_1\int_{x_c}^{x_d} w_x N_x\,dx \tag{26.1}$$

となり，それぞれの部分を P_c，P_d であらわして，

$$\left.\begin{aligned} V&=F_2P_c+F_1P_d\\ P_t&=P_c+P_d \end{aligned}\right\} \tag{26.2}$$

又 P_c，P_d については，(25.63) 式より

$$\left.\begin{aligned} P_c&=\gamma Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot e^{Z_2\lambda_c}\{\Omega(Z_2,\ \lambda_c)-\Omega(Z_2,\ \lambda_c+t)\}\\ P_d&=\gamma Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot e^{-Z_2t}e^{Z_1(\lambda_c+t)}\{\Omega(Z_1,\ \lambda_c+t)-\Omega(Z_1,\ \lambda_d)\} \end{aligned}\right\} \tag{26.3}$$

となる。前と同じく $\lambda_c=4$，$x_d-x_c=10$ とし，$M=0.2$ と仮定し，さらに，$F_1=1.3$，$F_2=0,\ 0.1,\ 0.2,\ 0.4$ とおいてみよう。そうすると，Fig. 2.28 の太線の上側の曲線群が得られる。非定常状態における V と P の関係が，定常状態のそれと比較して，著しく異なつている点に注意すべきである。漁獲の強さをゆるめると，予期以上に高い自然増加が生じて，縮少していた資源を急速に回復させ，非定常状態の末期に急激に落ちて新らしい定常状態に達する。この事は，非定常状態での年令組成（中間にこぶのあらわれるような）では，最も比成長率の高い年令（生産的年令）が多くなつている事（2.6.1 参照のこと）からもうなずける。

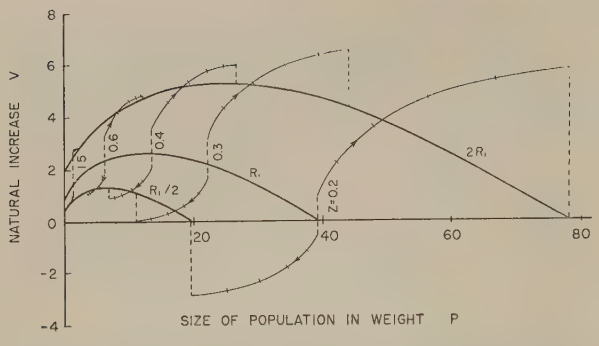
F が小さくなる場合に対して，F が急に大きくなる場合を考えると，年令組成が前とは逆に中間にへこみができることから，自然増加はむしろ低くなると予想されるが，$F_1=0,\ 0.1,\ 0.2,\ 0.4$ とし，$F_2=1.3$ として計算してみると，実際に Fig. 2.28 に示すように，曲線はすべて太線の下側に来ている。自然増加は，前の定常状態から次の定常状態に直線的に移行する。資源量は急速に減少し，資源はほとんど弾力的反撥を示さない。

以上の結果は，成長曲線の型がことなれば，当然変つてくる。たとえば，高令魚で成長が頭打となる場合には，F を小さくした場合の非定常状態での曲線は，山が左によるとともに，この状態の末期で，よりなだらかな形の減少となるはずである。

2.6.2.3 加入量が急に変化した場合

2.6.2.2 では，環境を一定として，漁業の変化によつて生じた漁獲の変化を考えたが，次に環境の変化した場合の例を考えてみよう。漁業資源で環境の変化に最も敏感に左右されるのは，一般に加入量であるから，加入量が急に変化した場合，どうなるかを考えることにする。$t=0$ で加入尾数が R_1 から R_2 に急に変つたものとする。$t=0\sim(x_d-x_c)$ の間では，中間の所で年令組成に階段的な変化があらわれる。この点，即ち $x=x_c+t$ の点で二つにわけて考えると，式 (26.3) で，$Z_1=Z_2=Z$ とし，R については，P_c には R_2 を，P_d には R_1 を代入すれば，この場合での P_c，P_d が求められる。V については，漁獲量と資源量の実際の増加分を加えたものであるが，これは，

$$V=F(P_c+P_d)+w_{\lambda_c+t}e^{-Zt}\left(\frac{R_2}{R_1}-1\right) \tag{26.4}$$



第 2.29 図 資源の大きさに対して示した自然増加量。太線は，上から下に順に，加入量が 2 倍となつた時，加入量変化前，及び加入量が 1/2 になつた時の定常状態での関係を示す。細線は加入量が急に増（上側）減（下側）した場合の非定常状態での関係を示す。曲線上の目盛は $t=2, 4, 6, 8$ 年をあらわす。両軸の尺度及びパラメタは Fig. 2.28 に同じ

Fig. 2.29. Natural increase after a sudden change in amount of recruit. Bold lines: steady states before (middle), and long after (upper and lower), the change. Thin lines: transition state after the increase (upper), or decrease (lower), in amount of recruit. The nodes on the thin lines indicate points for 2, 4, 6 and 8 years after the change. Scales of axes and values of parameter are the same as in Fig. 2.28.

とあらわせる。Fig. 2.29 には，$\lambda_c=4$, $x_d-x_c=10$, $M=0.2$ 及び $Z=0.2$, 0.3, 0.4, 0.6, 1.5 について，加入量が急に 2 倍になつた場合と，急に 1/2 になつた場合について示してある。太線は，$R=R_1$ の場合（中央）$R=2R_1$ の場合（上），$R=R_1/2$ の場合（下）における定常状態での関係を示している。中央の太線より上側は，R の増加の場合，下側は R の減少の場合の曲線である。もし R が急に増加すると，V も急に高くなり，R が減少すると V も急に低くなる。特に，R が減少した場合には，V が負になることすらある。

ここで思い出されるのは，栗田 (1957a) が，マイワシについて求めた自然増加曲線の形である（同著，Figs. 2～4）。その形は，ちようど R が急に減少した場合の曲線に類似している。栗田のいう，加入量の急激な減少が，マイワシ資源減少の主因であろうという想定は，この意味からして，もつともらしく思われる。

2.6.2.4 若 干 の 論 議

以上あげた三つの例は，様々な場合のうちの僅かな一例にすぎないが，要は充分につくされていつてもよかろう。即ち，自然増加量は，資源の大きさに対して中高の山型曲線を与えるといつても，これは定常状態の場合にのみいえるのであつて，非定常状態では，著しく様子は異なつている。しかも，非定常状態での曲線の形は，定常状態に対する攪乱の型によつて著しく異なるのである。非定常状態で観測された結果から，定常状態での関係は推定されないし，条件が変化した場合における非定常状態での様子を，定常状態における関係から予想することも不可能である。このように大きなちがいが生ずる理由は，両者の間で年令組成が異なり，又成長が，age-specific であるからである。年令組成が異なれば，V の値もことなることについては，2.6.1 で述べた (25.15 式も参照) が，資源の構造が，その生産性の上で極めて重要な意義をもつていることが知られよう。もし sigmoid 曲線の理論にもとづいて，V と P との間の関係を求め，これから資源の管理について考えるとすれば，それぞれのデータは，一定の環境のもとで，しかも定常状態について得られたものでなければならない。しかるに，実際の漁業は，環境及び漁業の両者のたえざる変化のために，常にふれていること，及びこれ等の攪乱が極めて敏感に V の値に作用することを考えると，実測された V と P の関係で，点が広い範囲にちらばるのは，当然のことであろうし，時によつては，特にデータの得られた期間が短い場合には，まるでちがつた V と P の関係が推定される危険性も大きいといわなければならない。

ここで示した例は，簡単な数学的モデルにしたがつて，機械的に計算されたものであるから，その結果が複雑な生物現象を全く正しくあらわしているとはいえないし，そのことを強調するのがここでの目的でもない。しかし，簡単だとはいえ，これ等の数学的モデルは，2.4 で述べたように，魚の資源についての現象を慎重に検討した結果抽象されたものであつて，単なる仮定ではない。一方 sigmoid 曲線の考え方は，魚以外の生物からの類推であり，魚という特殊性を無視した模倣という事もできよう。魚の資源の dynamics は，やはり Baranov の立場で見ていくべきであると考える。

第 3 章 Population dynamics (II) 若干の修正

3.1 基本的モデルにおける問題点

Baranov (1918) によつて，最初につくられた population dynamics の基本的モデルは，2.4 で論じたように，多くの観測事実をもとにして，簡単な中にも要をつくしたものである。しかし，要をつくしたとはいつても，複雑な生物現象，資源の変動法則が，これだけの事で完全にあらわされるとは，とうてい考えられない。事実我々の経験，観測された現象の中には，Baranov 流のモデルだけではあらわされない，より複雑な多くのものがある。これ等の大部分は，数学的抽象化の前に，なお多くの観測や記述を要するものであり，又生物学的に解明されなければならないものである。しかし，現在でも，ある程度定量的法則としてあきらかになつているものについては，可能なかぎり，これ等の知見を Baranov 流の dynamics に組入れるようつとめることは，重要なことである。

Baranov 流のモデルと一口にいつても，これはけつして確定不変のものであつたわけではない。最初に Baranov の与えたモデルは，魚の成長は直線的であり，最高年令は無限大まで含めたものであつた。Thompson and Bell (1934) は，体重の成長を指数函数であらわした。山中 (1954c)，田中 (1954b) では，成長式は Baranov と同じものを用いたが，最高年令を考え，ここですべての魚は死ぬものとした。Beverton (1953) は，最高年令を考えると同時に，成長式として，Bertalanffy の式を用いた。Beverton のモデルは，現在，基本的モデルとしては，一つの典型ということができよう。第 2 章では，主としてこのモデルを用いて論議を進めて来た。さらに Beverton and Holt (1957) は，age-specific な漁獲係数，自然死亡係数，密度効果による成長度の変化，産卵量従属的加入量の変化等についても，それぞれ検討を加えているし，一方 Watt (1956) は，環境の変化にもとづくパラメタの変化を，多重回帰の方法等によつて組入れることを提案している。

Beverton and Holt，或は Watt の業績は，勿論非常にすぐれたものである。しかし，その仕事の大きさにもかかわらず，現実の漁業との間になお相当のへだたりがあるように感ぜられる。モデルを複雑化することは，計算の手間が多くなることをのぞいては，数学としては，ほとんど問題はないといつてもよい。現在のように，すぐれた計算機器を充分に利用できる時代においては，もしあるモデルがどうしても必要なものであるとなつた時には，たとえそのモデルがどんなに複雑なものであつたとしても，それを導入し，その式を解くことには，あまり問題はない。むしろ問題は，モデルを複雑化することによつて，どれほど現実に接近させることができるか，という点にあると思う。だから，第 2 章で論じた基本的 dynamics は，あくまで基本としての重要さを保つていると考える。そして現在この上につけ加えるものがあるとするならば，それ等はまず第一に，基本的モデルがくずれた場合に，そのくずれ方，及びくずれた程度によつて，結果がどのように変つてくるか，ということについての知識をふやすことであろう。

この章では，このような立場から基本的モデルに含まれている問題点のいくつかについて検討してみることにする。しかし，今ここで問題点のすべてをあげて，それぞれについて検討するつもりはない。そもそもなにが問題点であるかという事自身，必ずしも明らかではないからである。最もしばしばとりあげられているいくつかの例をあげるにとどめる。

3.2 F や M が年令によつて異なる場合

過去の経験や，他の分野における知見からの類推によつて，F や M が漁獲可能の全年令範囲にわたつて，厳密に一定であるということは，ほとんど考えられない。たとえば，漁具は必ず大きさに対して選択効果をもつている。漁師は，目的とする魚種や魚体の大きさによつて，いろいろと漁具をとりかえ，効果的な漁業につとめているが，これは即ち，漁具によつて，年令や大きさに対する選択性が異なり，したがつて，F が異なることを示している。たとえばマイワシでは，シラス，小中羽，大羽がそれぞれ別の時期或は別の場所に現れ，いろいろ異なつた漁具や漁法で漁獲されているが，このような場合，それぞれの成長発育段階

で F の値が等しいとはとうてい考えられない。M の値の年令による差については，今までに必ずしも充分にわかつているわけではないが，たとえば British Columbia の herring の年令組成では，明らかに高令で死亡率が高くなるようにみえる（Ricker, 1948, Figure 7）が，Tester (1955) が推定した値によると，4才から5才の間では $M=0.448$ であるのが，7才から8才の間では 0.792 と著しく高くなつている。幼稚魚時代の死亡率が高いということは，数量的にはともかく，ほとんど常識的な事となつている。

F や M が年令によつて変化しているにもかかわらず，これを一定とおいてモデルを組立てたとすると，当然なにがしかの誤差が生ずるであろう。以下において，この点を考えてみることにする。

3.2.1 F が年令によつて異なる場合

F の年令による差は，二つの原因によつて生ずる。一つはある特定の漁具が用いられる場合，その漁具が大きさに対して選択性をもつためにおこる差である。底曳網における小型魚の網目からの逃避，刺網の選択性等がこれである。この事を漁具の選択性とよぶことにする。もう一つは，漁業そのもののもつかたよりによつて生ずるもので，これを漁業の選択性と呼ぶことにする。たとえば，魚の分布が年令によつて異なつてたり，それ等漁場を漁船が選択的に利用するとすれば，たとえ漁具自身には選択効果がなくても，全体としてみると，特定の年令に特に強く漁業が作用するということも起り得る。

この二つの事は，資源を管理するために漁業を規制しようとする場合には重要な問題となる。たとえば底曳漁業で小型魚を保護しようとする場合には，網目の制限は効果的であろうが，たとえば，九州西岸でのマイワシ漁業で小中羽を保護しようという場合には，旋網の網目の制限がそれほど効果的とは思われない。この場合には，秋期の小中羽の漁期に，漁業全体としての規制を実施しなければならない。

しかし，population dynamics の立場から考えるならば，漁具であれ漁業であれ，その選択性は，抽象化された選択曲線（年令に対して F の変化を相対的に示した曲線）としてあらわされるので，同一に取扱うことができる。そして，実際の選択曲線と，第2章で考えてきた簡単な階段函数（25.2 式）とのちがいとして，まず階段がなだらかになつた場合，いいかえると，加入がある年令の巾をもつて徐々に起る場合を考える。次にマイワシの例のように，成長発育段階で，全く別の漁業によつて利用されている場合を考える。

3.2.1.1 漁獲対象資源への加入が瞬間的でない場合

たとえば底曳網による漁獲物の年令或は体長組成をみると，Fig. 2. 4, Fig. 2. 5 のように，ある年令又は大きさ以上では指数函数的減少法則がなりたつていても，それより小さい魚，つまり漁獲物曲線の左辺では，むしろなだらかな増加傾向がみられ，切断的に切れているような例はない。この理由は，底曳網の選択曲線が，切断的階段函数でないためであると考えられる。ニシンの例 (Fig. 2. 3) では，4～5才までは増加傾向を示すが，これは若年群の漁場への加入が漸進的に進行することを示している。この二つの効果は，しばしば組合わさつて，ある漁業に特有の選択曲線をあらわす。

この選択曲線は，いずれにしても，ある sigmoid な曲線になつていると考えられる。Buchanan-Wollaston (1927) は，底曳網の選択曲線は体長に対して正規分布函数的であると考えている。漁場への加入の年令も正規分布をすると考えるのは，もつともらしい事であろう。これ等二つの正規分布函数の組合せは，必ずしも正規分布函数とはならないが，一般的には，わずかに非対称な，正規分布に近い型の分布函数を与えるものと考えられる。だから，選択曲線を年令に対して正規分布函数と仮定することは，それほど無暴なことではなかろう。このように仮定すると，一般の x に対して F_x は，

$$F_x=\frac{F_\infty}{\sqrt{2\pi}\sigma_c}\int_{-\infty}^{x} e^{-\frac{(x-x_c)^2}{2\sigma_c{}^2}}dx \qquad (32.1)$$

となる。F_∞ は，大型魚で F が一定となつた所の値である。M の方は年令によらず一定とすると，

$$N_x=N_0e^{-\int_0^x Zdx}=N_0e^{-Mx}\cdot\exp\left\{-\int_0^x\frac{F_\infty}{\sqrt{2\pi}\sigma_c}\int_{-\infty}^{x}e^{-\frac{(x-x_c)^2}{2\sigma_c{}^2}}dxdx\right\} \qquad (32.2)$$

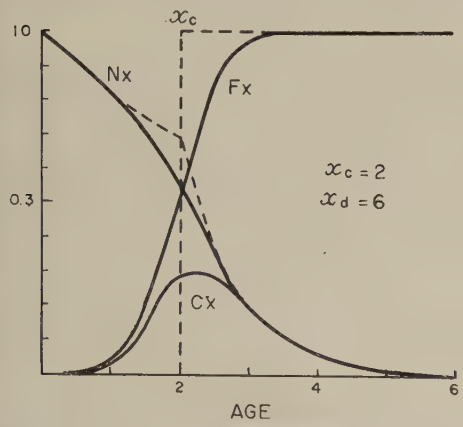
となる。ただし N_0 は $x=0$ における初期尾数である。この式は解析的には解けないが，正規分布函数を数値積分することによつて，数値的に求めることができる。

w_x が与えられれば，漁獲量は，

$$Y=\int_0^{x_d} F_x w_x N_x dx \qquad (32.3)$$

としてあらわされる。この値も数値積分によつて求められる。

具体例を示そう。成長曲線としては，以西底曳で漁獲されるキダイのそれを用い，* 田中 (1956b) によつて $Z_\infty=1.2$，年令範囲を 0～6 年とし，$M=0.2$，$F=1.0$ と仮定した。正規分布の分散については，一応 $\sigma_c=0.5$ とおいた。以上のデータによつて，$x_c=2$ の場合の F_x，N_x，C_x を示すと，Fig. 3.1 のようになり，又 $x_c=1$～5 とした場合の C_x の変化を示すと，Fig. 3.2 のようになる。田中(1956b)の第3図と比較すると，だいたい $x_c=2$ の場合が実際に近いようにみえる。誤差函数の平均 x_c に対して Y を示し，さらに選択が同じ x_c で切断的であつたとした場合の Y と比較すると，Fig. 3.3 のようになる。二つの曲線は非常によく近似しており，その誤差はほんの数%にすぎない。さらに，最大の Y を与える

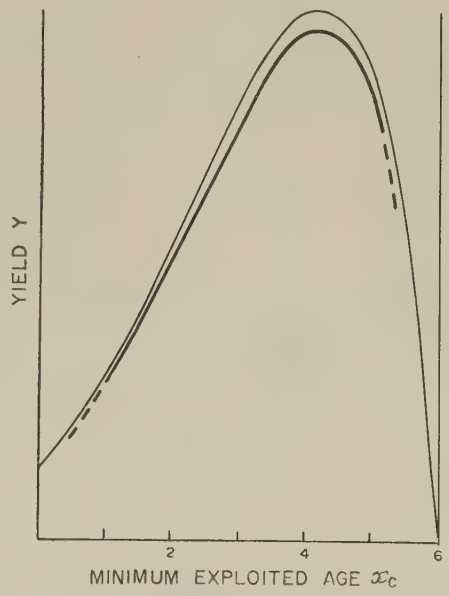


第 3.1 図　キダイでの実際的選択曲線と階段曲線による近似(点線)との比較

Fig. 3.1 Comparison between realistic selectivity and approximation by step function (dotted line).

第 3.2 図　キダイでの実際的選択曲線を変化させた時の漁獲物曲線。縦線は 50% 選択の点

Fig. 3.2 Expected catch curve of porgy for various values of 50% selection age of realistic selectivity; 50% points are indicated by vertical lines.



第 3.3 図　キダイ漁獲量の実際的選択曲線と階段函数による近似の場合での比較

Fig. 3.3 Comparison of catch between cases of realistic selectivity (bold line) and approximation by step function (thin line).

---

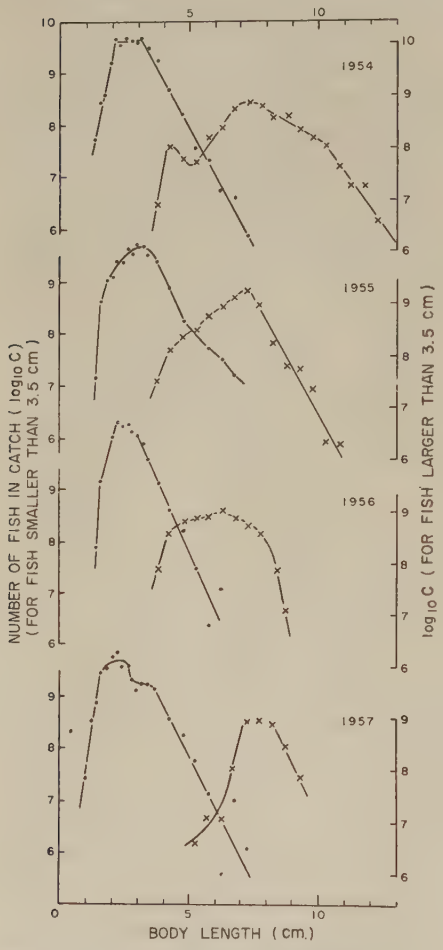
* 成長曲線としては，Bertalanffy の式を用いず，田中 (1956b) の第4図からよみとつた体長 (又長) を，真道・青山 (1954b) の式によつて体重に換算し，さらにこれ等の点をなめらかな曲線によつてならしたものを用いた。そのおおよその値を示すと，次の通りである。

年令	0	1	2	3	4	5	6
体重 gr.	0	17	70	170	330	550	810

$w^{1/3}$ について Walford の定差図を画くと，だいたい直線となる。

点が一致している事もみのがせない。もし $M=0.2$ という仮定が正しければ，東海のキダイでは，もつと小型魚を保護した方がよいという結論*は，選択曲線の型によつては全く変らない。σ_c が大きくなれば，誤差も大きくなると考えられるが，ここで用いた程度の加入時期の巾では問題とならないとみてよかろう。即ち選択曲線で，選択率が 50% となる点，或は選択域の中央の点を，最獲最小年令 x_c とおけば，充分によい近似値が得られることになる。もつとも，誤差曲線を用いた場合の方が，Y が低くなつているという点は，注意しておく必要がある。

3.2.1.2 年令によつて異なつた漁具で漁獲される場合



第 3.4 図 カタクチイワシの体長組成。● 印静岡県舟曳 4～6 月，×印三重県舟曳 7～9 月分，3.5 cm 未満と以上で体長間隔が異なつているため縦の尺度がずらせてある

Fig. 3.4 Length composition of anchovy. ●: boat seine in Shizuoka Prefecture from April through June. ×: boat seine in Mie Prefecture from July through September

東海西部地区（静岡・愛知・三重の各県）で漁獲されるカタクチイワシの体長組成（田中, 1956a）をみると，遠州灘方面では，5 月を中心として，体長 4 cm 未満のシラスが，舟曳網によつて大量に漁獲されており，又あきらかにこのシラスが成長したとみられる 5 cm 以上の成魚型が，7 月以降から初冬にかけて，湾内でパッチ網によつて多獲されている。その体長組成を示すと，Fig. 3.4 のようになる。まだこれ等の漁業による漁獲率や，カタクチイワシの自然死亡率については，ほとんどわかつていない（5.3 参照）が，Fig. 3.4 からみて，シラスと成魚型で，異なつた型の漁獲をうけていることはあきらかであり，体長 5 cm 附近でシラス漁業，成魚型漁業をわけて考えることができる。このようなことは，マイワシについてもみられる（5.2 参照）。

もし漁業がある年令或は体長を境にして異なつているとすると，その資源についてのモデルも 2 段階にわけて考えなければならない。今幼魚をとる S 漁業と，高令魚をとる L 漁業があつたとする。S 漁業は年令 x_{cS}～x_{dS} のものを，又 L 漁業は，x_{cL}～x_{dL} のものを漁獲するものとする。勿論実際の年令の切目は漸進的なものであろうが，3.2.1.1 でしらべた事によつて，一応切断的と考えてさしつかえなかろう。一般の場合には，S 漁業から L 漁業への転換も漸進的であろうから，簡単に $x_{dS}=x_{cL}$，即ち S 漁業から逃れたものは，ただちに L 漁業の対象となるものとしよう。そうすると，加入量を，最初に S 漁業の対象となる年令 x_{cS} の時の尾数にとつて，S, L 両漁業による漁獲量を，

$$\left.\begin{aligned} Y_S &= w_\infty R \frac{F_S'}{Z_S'} D(\xi_{cS}, \xi_{dS}; Z_S') \\ Y_L &= w_\infty R c^{-Z_S'(\xi_{dS}-\xi_{cS})} \frac{F_L'}{Z_L'} D(\xi_{dS}, \xi_{dL}; Z_L') \end{aligned}\right\} \quad (32.4)$$

とおくことができる。ここで Y_S, Y_L は全く別々に計算されるのであるから，F_S' と F_L' は勿論，M_S' と M_L' についても，その値がそれぞれ等しい必要はない。この考えをマイワシ漁業，及びカタクチイワシ漁業に適用した例が，5.2, 5.3 に示されている。

* 資源管理の問題は，5.4 でくわしく論ずる。

3.2.2 M が年令によつて変る場合

数式的にいえば，M が年令によつて異なつても，もしこれが年令の函数として与えられてさえいれば，全く問題はない。しかし，結果的には，F や M が一定の場合にくらべて，いろいろと変つた点があらわれてくる。これ等の事を，典型的な三つの例について考えてみよう。三つの例とは，それぞれ M について，a) 高令で高くなる場合，b) 若令で著しく高い場合，c) a) と b) の組合せの場合である。これ等の例はそれぞれ，ニシン，カタクチシラス，マイワシをモデルにして考えられているが，現在の所，これ等の魚種の自然死亡について，傾向的なこと以外ほとんどわかつていないので，漁獲率，自然死亡率とも仮定された値を用いている。

例 1.　高令で M の高くなる場合（北海道の春ニシンをモデルとして）

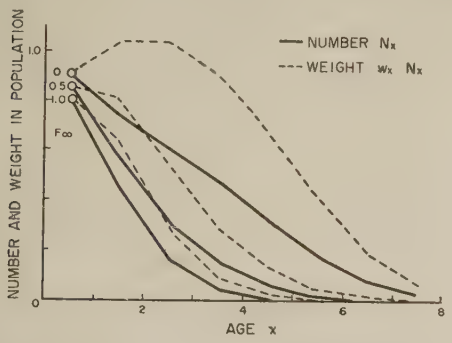
北海道の春ニシンでは，成魚のみを同一の方法（建網と刺網）により漁獲しており，British Columbia の herring と同様に（Tester, 1955）高令になると自然死亡が高くなるらしい。計算に用いるデータを Table 3.1 に示す。成長曲線は北海道春ニシンのもの（石田，1952）を用いてあるが，M_x，及び選択曲線 φ_x は仮定したものである。年令は $x=0$ が 3 才に相当し，M は $x=0\sim2$ で最も低く，以後次第に増加して，$x=6\sim7$ で，急激に増大するものとする。φ_x は $x=2$ までは，加入の進行につれて，徐々に増加し，$x=2$ 以後では一定の値となるものとする。なお F_x の値は，φ_x に F_∞ をかけたものである。

計算は，w_x を各年令の中央での体重とし，それぞれの全減少係数で減少している魚群数の，その年の中央での尾数をもつて年間平均尾数とおいて，積分のかわりに和を用いて行なつた。F_∞ を 0, 0.5, 1.0 とおいた時の年令別の尾数，重量を Fig. 3.5 に示す。Fig. 3.6 には，いろいろな Z_x の平均の値が，F_∞ に

第 3.1 表　ニシンをモデルとしたデータ

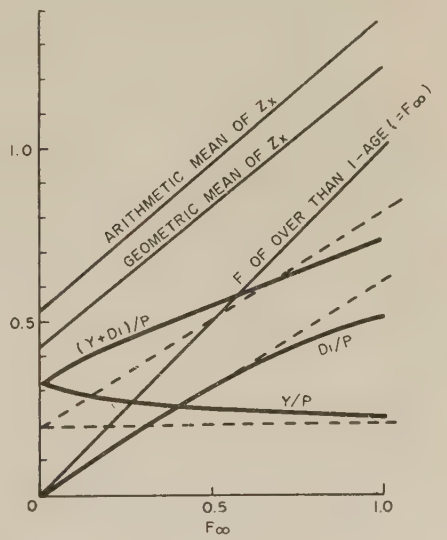
Table 3.1. Data approximated to herring case.

年令 (x) Age	w_x	M_x	φ_x
0	1	0.2	0.2
1	1.4	0.2	0.6
2	1.7	0.2	1.0
3	1.9	0.3	1.0
4	2.1	0.5	1.0
5	2.3	0.7	1.0
6	2.4	0.9	1.0
7	2.5	1.2	1.0



第 3.5 図　ニシンの年令別の尾数及び重量。漁獲係数として $F_\infty=0$, 0.5, 1.0 の 3 段階が示してある。$x=0$ が実際の 3 才に対応

Fig. 3.5 Number and weight by age of herring population on the basis of data in Table 3.1. Three varieties of F_∞, 0, 0.5 and 1.0, are taken for example. 0-age corresponds to 3-age in actual case.



第 3.6 図　ニシンのモデルについての F_∞ に対して示された諸係数の平均。太線が正しい平均。点線は 2 才魚以下についての Z_x, F_x, M_x の算術平均。$x=0$ が実際の 3 才に対応

Fig. 3.6 Various means illustrated against F_∞ on the basis of herring data. Dotted lines show arithmetic means of Z_x, F_x and M_x for 2-age and younger fish.

対して比較して示してある。これ等のうち $(Y+D_1)/P$ は，実際に1年間に死ぬ量と年間平均資源量との比であつて，いわば正しく平均された Z の値である。この場合，各年令別の Z_x は，それぞれの年令での重量 (P_x) を重みにして平均されている。同じく Y/P は F に，D_1/P は M に相当する。この正しい値に対して，Z_x を無加重で平均したもの，幾何平均をしたものでは，その値が著しく高くなつている。それは，たとえ高年になつて M の値が著しく増したとしても，高令魚の尾数はほんのわずかにすぎないので，資源全体に対する影響はとるにたりないものであるにもかかわらず (Fig. 3.5)，他と同等の重みが加えられているからである。F についてみると，正しい平均では，F_∞ の半分近い値にまで下つており，$x=0\sim1$ の間における低い F の影響の予想外に大きいことがわかる。M では，F が高くなると，漸減の傾向がみられるが，これは，F が高くなるほど，高令での高死亡率の影響がきかなくなるからである。

Fig. 3.5 でみると，$x=3$ までの魚が，資源の中での主要な部分をしめていることがわかる。だから，この部分だけについて，Z_x, F_x, M_x の平均をとつてみると，Fig. 3.6 中の点線のように，他の算術平均や F_∞ の値にくらべて，よほど正しい平均に近くなつていることがわかる。

例 2. 若令で M が著しく高い場合（カタクチシラスをモデルとして）

遠州灘では，6～7 cm 以下のカタクチイワシのシラスが，しらす舟曳網によつて大量に漁獲されている (Fig. 3.4 参照)。これ等のシラスについては，大ざつぱな成長曲線と体長組成が得られているが，死亡率についてはよくわかつていない。一般的にいつて，シラスのような若い時代には，死亡率も高いが，又成長率が著しく高く，したがつて生体量はむしろ増加傾向にあると思われる。それで，Table 3.2 では，だいたいの成長曲線を与え，M としては，魚が小さいほど著しく高く，しかも P_x が x とともに増加する程度の値を仮定し，F は一定とおいた。* ここで x は 1/2 月単位である。

第 3.2 表 カタクチシラスをモデルとしたデータ

Table 3.2. Data approximated to anchovy larvae case.

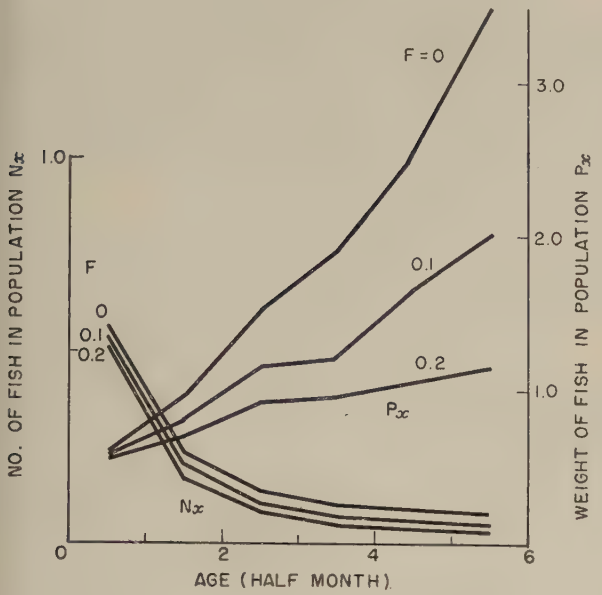
x (半月) (Half month)	w_x	M_x
0	1	1.1
1	4	0.7
2	11	0.4
3	19	0.2
4	30	0.1
5	45	0.1

年令別の尾数 N_x，重量 P_x を図示すると，Fig. 3.7 のようになる。ここでは，例1の場合とちがつて，大きくなるほど P_x が増すのであるから，初期の高い死亡率の影響はあまりない (Fig. 3.8)。D_1/P の値は 0.3 前後で，Z_x の算術平均よりはるかに低い。Z_x の幾何平均は，$(Y+D_1)/P$ の値と近くなつているが，これは常にそうなるという意味ではなかろう。ここでもし M_x が著しく高くなり，P_x がむしろ下り傾向になつたとすると，逆に初期の高死亡が主としてきくことになり，平均減少係数は著しく高くなる。

例 3. 若令及び高令で M が高い場合（マイワシをモデルとして）

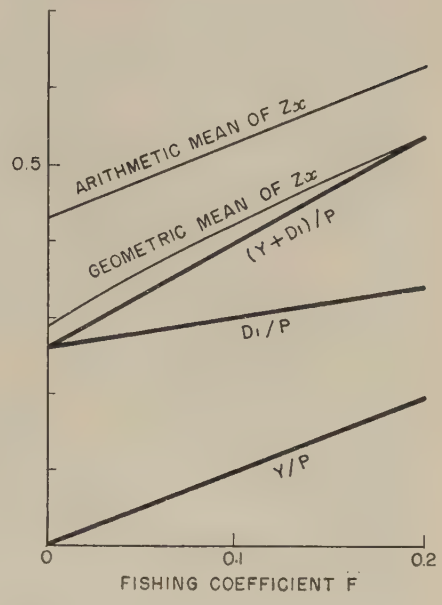
もう一つ同じような例を考えてみよう。マイワシ漁業を例として，稚魚から，成熟した高令魚まで，すべての段階の魚が利用されているものとする。ここでは，M_x は当才で高く，一旦下つた後，徐々に増加する傾向にあるものとする。F_x は各年令とも一定とおく。成長曲線は，マイワシのそれを用いる。データは Table 3.3 に，結果は Fig. 3.9, Fig. 3.10 に示してある。前2例と本質的な差はないが，たとえば例1とくらべると，Z_x の平均が $(Y+D_1)/P$ に近い。これは，0 才での高い Z_x の値が，特に F の高い所で

* Fig. 3.4 によると，シラスの体長組成の右辺は，ほぼ指数函数的になつている。ここで全減少係数を求めると，だいたい 1 cm の体長増加に対して 2～3 程度である。シラスの成長を月に 1 cm 程度とすると，1月で約 10～5% にへつてしまうことになる。シラスの死亡率は一般に高いであろうが，それにしても，あまりにも高い値と思われる。シラスの山と成魚型の山を直接むすんで傾斜をみると，1ケ月の生残りが 0.15～0.4 となる。これ等の数字が真の死亡率をあらわすものか，或は逸散を含むものであるかはわからない。ここでは成長率が死亡率より高い場合を考えるため，死亡率は低めに仮定されている。(なお死亡率の推定については 5.3 を参照されたい)。



第 3.7 図　カタクチシラスの年令別の尾数及び重量。F の値を 0, 0.1, 0.2 と 3 段階に変えてある

Fig. 3.7 Number and weight by age of anchovy population on the basis of data in Table 3.2.



第 3.8 図　カタクチイワシのモデルについての F に対し示された諸係数の平均

Fig. 3.8 Various means illustrated against F on the basis of anchovy data.

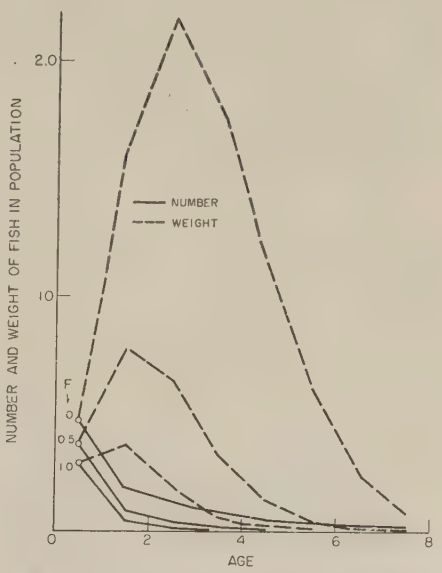
第 3.3 表　マイワシをモデルとしたデータ

Table 3.3. Data approximated to sardine case.

x	w_x	M_x
0	1	1.5
1	9	0.4
2	18	0.4
3	23	0.5
4	25	0.6
5	26	0.8
6	27	1.1
7	27	1.5

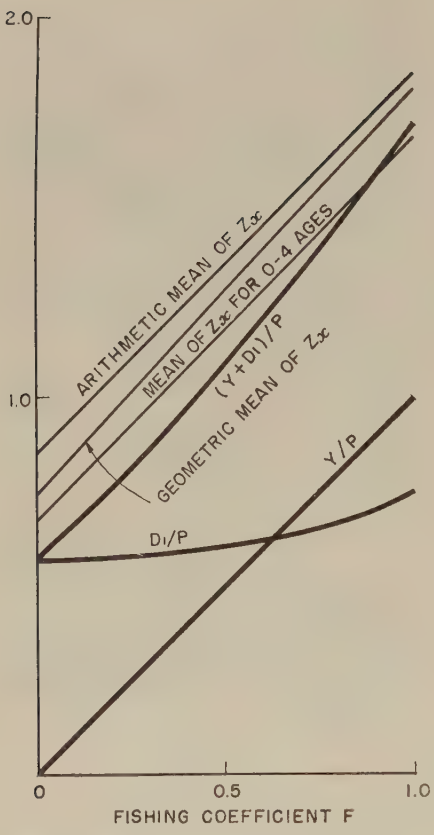
$(Y+D_1)/P$ の値に強く影響するからである。主要年令の 0～4 才について，Z_x の平均をとると，$(Y+D_1)/P$ と相当に近い値となる。

以上三つの例は，いずれもモデル的なものであるが，F や M が年令によつて異なる場合に，資源全体としての死亡率にいろいろな変化のあらわれることがわかつた。そして，一般的



第 3.9 図　マイワシの年令別の尾数及び重量。F の値を 0, 0.5, 1.0 の 3 段階に変えてある

Fig. 3.9 Nnmber and weight by age of sardine population on the basis of data in Table 3.3.



第 3.10 図 マイワシのモデルについての F に対して示された諸係数の平均

Fig. 3.10 Various means illustrated against F on the basis of sardine data.

にいつて，若令魚や高令魚で死亡率が著しく変化するとしても，それ等の年令群が重量でいつて，さほど主要なものでない場合には，全体としてはあまり影響しないといえる。しかし，年令構成は F の値によつて変化し，それにつれて，特に若令魚での高死亡率の影響がきいてくることのある点は注意を要する。

3.2.3 等価底曳漁業の考え方

年令により，F や M が異る時は，第2章で述べたような理論や数式，数表は用いられなくなるばかりでなく，たとえ F や M が数値的に或は函数として与えられたとしても，第2章におけるように簡単に計算を行なうわけにはいかなくなる。勿論各種の計算法や計算機器を利用すれば，短時間で計算ができないというわけではないが，それほどのことはしないでも，だいたいの傾向を見当づけたいというような場合もあろう。そういうような時に，もしなん等かの方法で実際の状況を第2章でのべた簡単なモデルで近似し或は代用することができれば便利であろう。

3.2.1.1 で底曳網の選択曲線の比較を試みたが，この例でみれば，あきらかに，ある巾をもつた選択曲線を，階段的な選択曲線で近似することができる。しかも実際的選択曲線の，模型的なそれへの変換が，選択率 50% の点をとるというように，極めて容易に行なえることは，実用的にいつて重要な点である。

一般の場合についても，これと同様な変換を考えることができよう。底曳網を基本とした第2章のモデルには，年令の範囲について，x_c, x_d の二つ，死亡係数については，F, M の二つ，計四つのパラメタが含まれているが，これ等のパラメタを適当に与えることによつて，実際の場合とある条件(たとえば漁獲量等)において全く等しい底曳漁業を考えることができる。このような底曳漁業を，等価底曳漁業とよぶことにしよう。パラメタが四つあるから，一致させる条件も四つまで選ぶことができる。これ等のうちで，漁獲量が相等しいということは，かかすことのできない条件であろう。他の三つは，それぞれの場合に応じてきめられる。3.2.1.1 の例でいうと，F については，F_∞ と等しく，M はそのままとし，又 x_d も等しいとおいた場合，x_c をどのようにとればよいかという問題になる。答は Fig. 3.3 によつて求められるが，x_c として，選択率が 50% となる点，或はこれよりやや小さめの点 (x_c が Y の極大となる点より左にあるとして) をとると，Y を等しくさせることができる。

一般の場合に，等価底曳漁業は，次のようにして求められる。F_x, M_x が年令によつて異なるとすると，その時の漁獲量 Y は，

$$Y=\int_{x_r}^{x_d} F_x w_x e^{-\int_{x_r}^{x} Z_x dx} dx \tag{32.5}$$

となる。これに対して F_x, M_x が一定で F_0, M_0 に等しく，年令範囲が x_c', x_d' である場合の漁獲量 Y_0 は，

$$Y_0=e^{-M_0(x_c'-x_r)}F_0\int_{x_c'}^{x_d'} w_x e^{-Z_0(x-x_c')}dx \tag{32.6}$$

である。したがつて，

$$Y=Y_0 \tag{32.7}$$

とおき，その他三つの条件式とともに連立方程式として，x_c', x_d', F_0, M_0 を解けば，四つのパラメタを全部決定することができる。この連立方程式が常に容易に解けるとは限らないが，次に簡単な場合について考えてみよう。

今，年令範囲 $x_c \sim x_d$ は変えないものとする。そして，条件としては，漁獲量を等しくするとともに，$x_c \sim x_d$ の間の資源量が等しくなるようにすることを考えて，F_0, M_0 を決定してみよう。条件式は，

$$\int_{x_c}^{x_d} F_x w_x e^{-\int_{x_c}^{x} Z_x dx} dx = F_0 \int_{x_c}^{x_d} w_x e^{-Z_0(x-x_c)} dx \tag{32.8}$$

及び

$$\int_{x_c}^{x_d} w_x e^{-\int_{x_c}^{x} Z_x dx} dx = \int_{x_c}^{x_d} w_x e^{-Z_0(x-x_c)} dx \tag{32.9}$$

である。

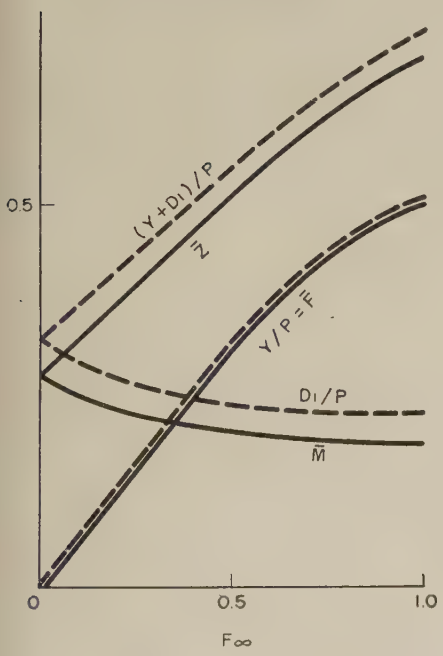
まず (32.9) を (32.8) に代入すると，

$$F_0 = \frac{\int_{x_c}^{x_d} F_x w_x e^{-\int_{x_c}^{x} Z_x dx} dx}{\int_{x_c}^{x_d} w_x e^{-\int_{x_c}^{x} Z_x dx} dx} = \frac{Y}{P} \tag{32.10}$$

となり，F_0 は全体としての漁獲量と資源量の比に等しいことがわかる。(32.9) を解けば，Z_0 が求められ，$M_0=Z_0-F_0$ として自然死亡も求められる。

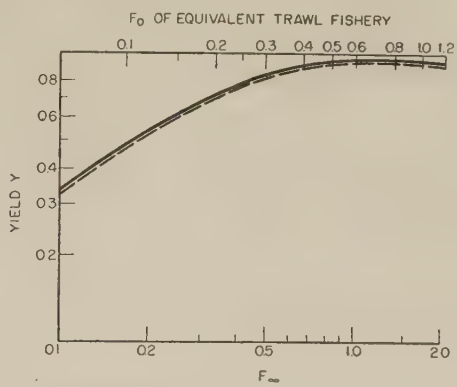
3.2.2 の Table 3.1 のデータによつてこれを求めてみると，Fig. 3.11 のようになる。これを先に求めた $(Y+D_1)/P$ 等と比較すると，F については一致しているが，M_0 は D_1/P よりやや低いこと，したがつて $(Y+D_1)/P$ よりも Z_0 がやや低いことがわかる。ここで D_1/P は，漁獲率と自然死亡率をそれぞれ等しくすることを条件とした等価底曳漁業の M_0 に相当する。

実用的意味からいうと，F と Y との関係をあらわす曲線の型が，相似的になるような等価底曳漁業がみつか



第 3.11 図　ニシンをモデルとした時の諸係数の正しい加重平均と，等価底曳漁業としての係数との比較

Fig. 3.11 Actual rate of mortalities as a whole and coefficients in equivalent trawl fishery approximated to the actual condition.



第 3.12 図　ニシンをモデルとした場合の F_∞ と Y の関係，及びこれに合せた等価底曳漁業における F_0 と Y' の関係。$M_0=0.2$, $F_0=F_\infty/1.7$.

Fig. 3.12 Relation between fishing intensity and yield on the basis of herring data. Solid line: from Table 3.1. Dotted line: for equivalent fishery approximated to solid line. $M_0=0.2$, $F_0=F_\infty/1.7$.

れば，非常に便利である。勿論完全に一致させることは不可能であるが，F_0 と M_0 の組合せを適当に選ぶことによつて，比較的相似な曲線を求めることはできよう。もしそのような曲線が得られるならば，漁業を変化させた時の結果を予想する上に便利である。Table 3.1 の例で，F_∞ をいろいろとかえて F_∞ と Y との関係を求め，これと F, M がともに一定の場合の F と Y との関係で漁獲量がほぼ等しく，かつ F の変化に対する Y の変化が相似的になつているものをさがしてみると，$M_0=0.2$ の時の曲線がほぼこれに相当し，$F_0=F_\infty/1.7$ という関係になつている。この両曲線を Fig. 3.12 に比較して示した。F_∞ が著しく高くなると多少はずれてくるが，その他の部分では，ほとんど完全に一致している。

Fig. 3.12 の例からみると F_x や M_x が年令によつて変化する場合でも，これとほとんど完全に同じような F と Y の関係を与える等価底曳漁業のあり得ることがわかるが，これを実際に応用するには，F_0 や M_0 の値が簡単に求められなければならない。しかし，これは一般にはむづかしい事である。

3.3 成長曲線が変化する場合

第2章において，成長曲線は，直線的場合においても，又 Bertalanffy の式を用いた場合でも，年により，或は地域により差はないと仮定していた。しかし一般には，成長は，地域により，年により，魚の密度により，或は性別により，かなりの相異を示すものである。たとえば渡辺 (1958) は日本海西南海区のソウハチガレイについて，同一年令魚で西高東低の傾向のあることを示している。これ等のソウハチ群は，ある程度はそれぞれ独立性をもつているかもしれないが，地理的にお互に近接しているので，これを全く別の群としてばらばらにその dynamics を考えることがゆるされるほど独立しているとも考えられない。内部的に均質でない時，全体を一まとめにして，一本の成長曲線で代用する事が適当かどうかという問題がおこつてくる。

魚の成長が密度によつて変化するということも一般にいわれている。たとえば，中井 (1949) は，マイワシの体長を同一年令で比較すると，戦後著しく大きくなつており，これが逆に資源の小さくなつた一つの証拠であると考えている。漁獲努力を縮少して資源を回復させ，その事によつて漁獲量を増大させようという試みは，或は成長の悪化によつて失敗するかもしれない。植物栽培の際に，しばしば間引を行なうことを考えても，問題の重大な事が考えられる。これ等の問題をここでは考えてみよう。

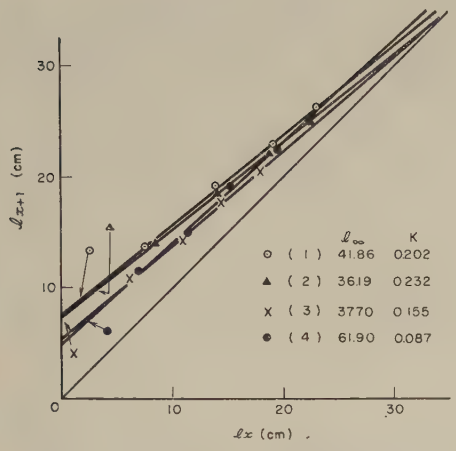
3.3.1 成長の変化の仕方

Bertalanffy の成長式

$$w=w_\infty(1-e^{-K(x-x_0)})^3$$

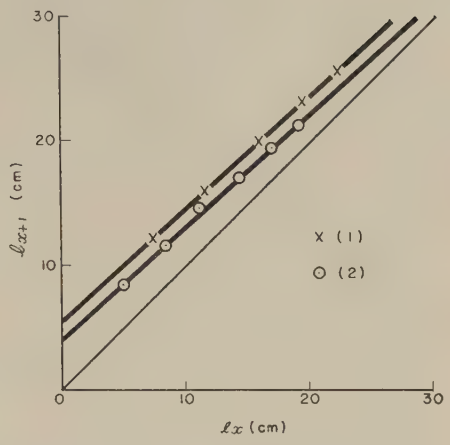
は，三つのパラメタを含んでいるので，それぞれの変化に応じて，三様の変化をすることができる。x_0 が変化すると，曲線の形は変化せず，そのまま左右に平行移動される。x_0 の変化は，ξ_c, ξ_d の変化をもたらす。K が変化すると，極限体重（長）への近づき方が変つて来て，K が大きいほど早く頭打となる。K の変化は成長曲線の x 軸方向での尺度の変化を意味し，ξ, F', M' の系で考えると，K が大きくなるということは，ξ_c, ξ_d が比例的に大きくなり，逆に F', M' は逆比例的に小さくなることを意味している。w_∞ の変化は成長曲線の縦軸の尺度の変化を意味する。

いくつかの実例について，各パラメタの変化の仕方を調べてみよう。大内 (1956) によると，日本海沿岸にすむムシガレイは，地域的にその成長が異なつている。大内の p. 240 の Fig. 93 によつて Walford の定差図を画いてみると，Fig. 3.13 のようになる。青森県沖を例外として，他ではほぼ $K=0.2$ 程度で，l_∞ の水準のみが異なつていると考えることもできるようにみえる。青森県沖では K が著しく小さいが，或は年令査定の誤差があるのかもしれない。北海道と東北のキチジの間でも，K は等しく，l_∞ が異なつている傾向がみられる (Fig. 3.14)。雌雄の差については，ホツケでは K に差がないが (Fig. 3.15)，ソウハチガレイでみると，K の差はあきらかで，♂の方が著しく高い (Fig. 3.16)。北浜 (1955) は，ニシンの成長を年級の大きさによつて比較し，大発生年級では，成長のおそいことを示している。成長曲線をあてはめてパラメタを推定すると，Fig. 3.17 のようになる。大発生群では，K が大きくなり，l_∞ が小さくなる傾向が



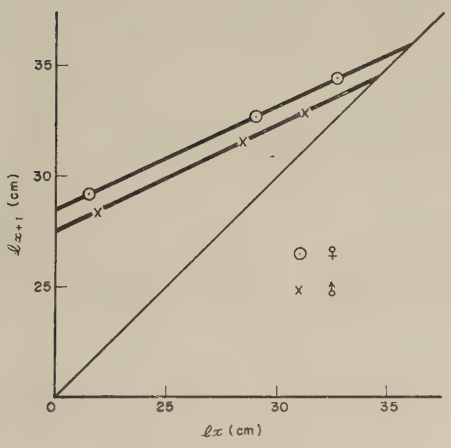
第 3.13 図　ムシガレイの地域別の成長曲線の Walford の定差図(大内, 1956 のデータより)

Fig. 3.13 Walford's diagram for a flat fish, *Eopsetta grigorjewi*, from different waters. (1) Southward from Tsushima Is. (2) Southern part of the Japan Sea. (3) Off Niigata (4) Off Aomori.



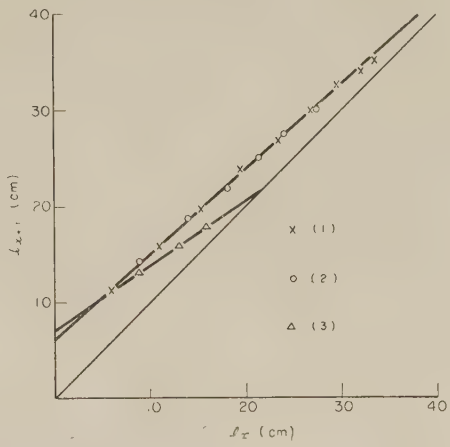
第 3.14 図　キチジの成長曲線の Walford の定差図（東北水研, 1956；北海道水研, 他 1956 のデータより）

Fig. 3.14 Walford's diagram for *Sebastolobus macrochir*.
(1) Northeastern part of Honshu.
(2) Hokkaido.



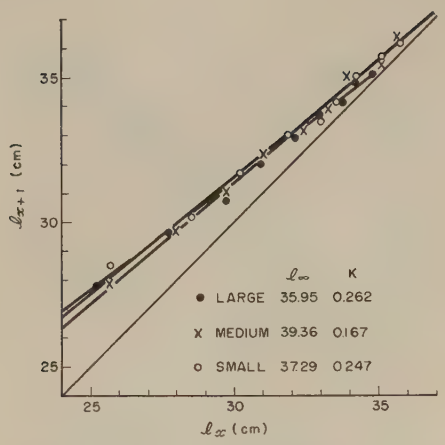
第 3.15 図　ホッケの成長曲線の Walford の定差図（資料, Fig. 3.15 に同じ）

Fig. 3.15 Walford's diagram for *Pleurogrammus agonus*.



第 3.16 図　ソウハチガレイの成長曲線の Walford の定差図（渡辺, 1956, 花村, 1954 のデータより）

Fig 3.16 Walford's diagram for a flat fish, *Cleisthenes herzensteini*. (1) Hokkaido. (2) ♀ southwestern Japan Sea. (3) ♂ southwestern Japan Sea.



第 3.17 図 ニシンの年級量別成長の WALFORD の定差図

Fig. 3.17 WALFORD's diagram of herring growth by year class strength.

あるようである。ソウハチガレイの雌雄差でも，ニシンの発生群別の差でも，K に差のある場合には，幼魚（最低年令魚）では体長に差がなく，年令がすすむにつれて，一方の成長が急に停止するというような型になつている。だから，実際に成長曲線をあてはめてみると，K に差のある時は，w_∞ は勿論，x_0 にも差のあらわれる（K が小さいほど x_0 も小さい）ことがある。

BEVERTON and HOLT (1957) は，BERTALANFFY の成長法則から考えて，K は比較的固定したもの（K は異化作用の係数のみに関連している）で，密度や餌料の影響は w_∞ に対してのみ影響すると考えている。この事は考え方としてはよいが，以上あげた例でみると，必ずしもそうなつているとはいえないようである。だから，成長の変動のモデルとしては，三つのパラメタの全体の変動を考慮する必要があるように思われる。

3.3.2 パラメタの変化の影響

3.3.2.1 w_∞ の変化の影響

漁獲対象となつている資源量 P は，

$$P=w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}\frac{1}{Z}\cdot D(\xi_c,\xi_d;\ Z') \tag{33.1}$$

で与えられる。ここで P/w_∞ は全く w_∞ を含んでいない。だから，もし w_∞ 以外のパラメタがすべて一定である場合には，P/w_∞ に関するかぎり，w_∞ の変化の影響は全く考えなくてよいことがわかる。実際の資源量は，

$$P=\alpha\cdot w_\infty \tag{33.2}$$

とおくことができる。w_∞ の変化は，P に対して，これに比例した変化を与えるだけである。漁獲量についても，

$$Y=FP=\alpha F\cdot w_\infty \tag{33.3}$$

であるから，同様なことがいえる。

もし w_∞ に地域的な差のあつた時は，問題は多少複雑になるが，地域別に各種のデータが得られている場合には，それぞれの地域について計算した値を，全地域について加え合せればよい。i で地域別をあらわすと，

$$P=\sum_i^n P_i=\sum_i^n \alpha_i w_{\infty i} \tag{33.4}$$

となり，α_i と $w_{\infty i}$ とが独立に変化している場合には，

$$P=n\bar{\alpha}\cdot\bar{w}_\infty,\ \text{但し}\ \frac{1}{n}\sum\alpha_i=\bar{\alpha},\ \frac{1}{n}\sum w_{\infty i}=\bar{w}_\infty \tag{33.5}$$

とあらわすこともできよう。漁獲量は，

$$Y=\sum_i^n F_iP_i=\sum_i\alpha_iF_i\cdot w_{\infty i} \tag{33.6}$$

(α_iF_i) と $w_{\infty i}$ が独立ならば，

$$Y=n\overline{(\alpha F)}\cdot\bar{w}_\infty,\ \text{但し}\ \overline{(\alpha F)}=\frac{1}{n}\sum_i^n\alpha_iF_i \tag{33.7}$$

となる。もし，地域間の魚群に交流があり，しかもその交流が漁獲の影響をうける時には，問題はますます複雑となるが，魚群移動についてのモデルが与えられれば，これを解くことはできる。

w_∞ が密度によつて変化する場合には，w_∞ が P の函数として与えられておれば，

$$\frac{P}{w_\infty}=\alpha \tag{33.8}$$

を P について解くことによつて，P を求めることができる。たとえば，

$$w_\infty=a-bP \tag{33.9}$$

であるとすると，

$$\frac{P}{a-bP}=\alpha \tag{33.10}$$

したがつて，

$$P=\frac{\alpha a}{1+\alpha b} \tag{33.11}$$

となる。

w_∞ のみが変化する場合で重要なことは，もし w_∞ の変化が P に関係して起るものでないならば，極大の Y を与える F の値は，w_∞ の値にかかわらず一定であることである。このことは，資源管理の面で考えると，大変都合のよい事である。*

3.3.2.2 K の変化の影響 (1) ニシンの場合

もし K の値が変化すると，K は (33.1) 式で ξ, Z' の中に含まれるので，結局死亡量函数の数値が変ることになる。死亡量函数は，

$$D(\xi_c, \xi_d;\ Z')=D(K(x_c-x_0),\ K(x_d-x_0);\ Z/K) \tag{33.12}$$

であるから，K が増加（減少）すると，それに比例して ξ_c, ξ_d が増加（減少）し，Z' は逆比例的に減少（増加）する。3.3.1 でのべたように，K の変化はそれだけが単独でおこることはなく，w_∞ や x_0 もすべて関連して変化するので，w_∞ のみが変化した場合のように，簡単に一般式であらわすことはできない。ここではニシンを例として，発生量の異なつた場合の成長曲線をつかつて，漁獲量を比較してみよう。今 Fig. 3.17 より大発生年の成長曲線を，

$$l=35.95(1-e^{-0.25(x+2.0)}) \tag{33.13}$$

小発生の場合のそれを，

$$l=39.36(1-e^{-0.16(x+3.6)}) \tag{33.14}$$

とおこう。この曲線は Fig. 3.18 に示してある。年令範囲を 3.9～16.4**，自然死亡を $M=0.2$ とおく。これ等のデータはまとめて Table 3.4 に示してある。なお，この表で w_∞ の値は，相対値のみを示した。以上の数値によつて漁獲量

$$\frac{Y}{Re^{-M(x_c-x_r)}}=w_\infty\cdot\frac{F'}{z'}D(\xi_c, \xi_d;\ Z') \tag{33.15}$$

---

* $Y'=\dfrac{Y}{Re^{-M(x_c-x_r)}}=w_\infty\dfrac{F}{Z}D(\xi_c, \xi_d;\ Z')$

であるから，Y' の極大を与える F の値は w_∞ が F の変化と独立であれば，

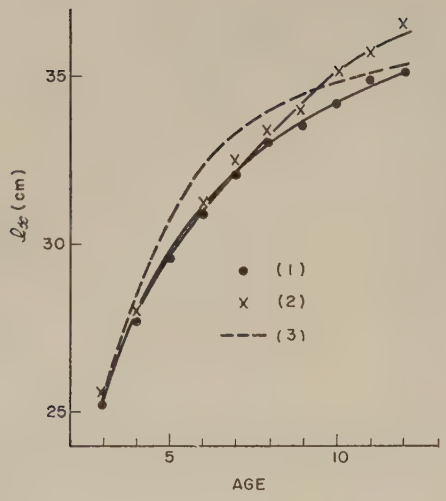
$$\frac{dY'}{dF}=w_\infty\frac{d}{dF}\left(\frac{F}{Z}D(\xi_c, \xi_d;\ Z')\right)=0$$

を解いて得られる。ここで w_∞ は 0 となることがないから，結局

$$\frac{d}{dF}\left(\frac{F}{Z}D(\xi_c, \xi_d;\ Z')\right)=0$$

を解けばよいことになり，w_∞ の値とは無関係に F の値がきめられる。年により，♂♀により，又地域によつて w_∞ がちがつたとしても，その他のパラメタが等しければ，最大の Y を与える F の値は，すべての組に共通となる。

** この数字は 4～16 の附近で計算に便利なものを選んだので，はんぱな数となつている。



第 3.18 図 ニシンの成長曲線。
(1) 大発生群,
(2) 小生群 (Fig. 3.17 の中発生群),
(3) HANAMURA (1953) による

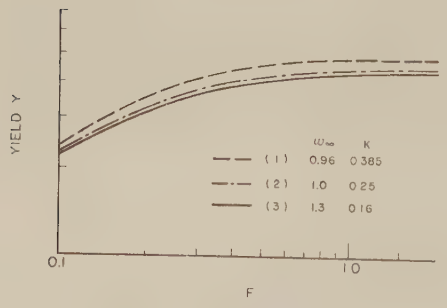
Fig. 3.18 Growth curves of herring. (1) large year class. (2) small year class (medium in Fig. 3.17). (3) after HANAMURA (1953).

第 3.4 表 ニ シ ン の デ ー タ

Table 3.4. Growth, age range and natural mortality of herring.

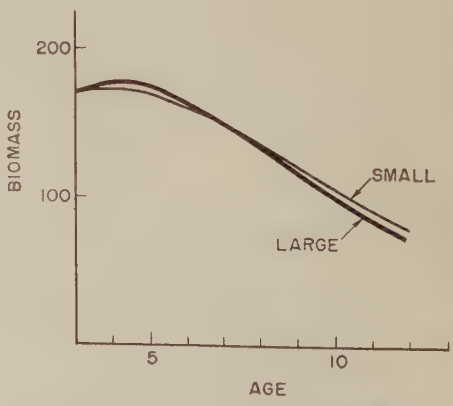
データの区別 Sources of data	x_0	w_∞	K	$x_c \sim x_d$	$\xi_c \sim \xi_d$	M
北浜 (1955) KITAHAMA (1955)						
大発生群 large year class	2.0	1.00	0.25	3.9～16.4	1.475～4.6	0.2
小発生群 small year class	3.6	1.31	0.16	3.9～16.4	1.2 ～3.2	0.2
HANAMURA (1953)	0.20	0.96	0.385	3.9～16.4	1.58～6.4	0.2

w_∞ は相対値のみを示す。M は適当に与えたものである。
w_∞ indicates relative values, M properly given value.



第 3.19 図 成長曲線別の F と Y の関係

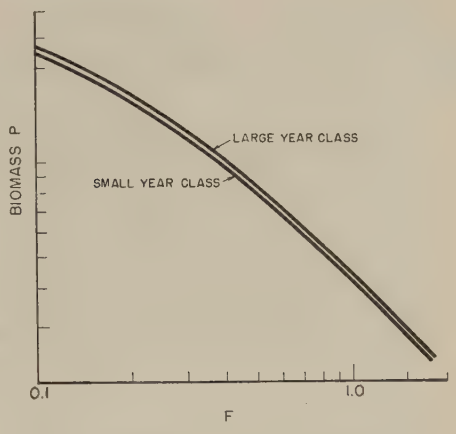
Fig. 3.19 Relation between F and Y for various growth curve of herring. (1) after HANAMURA (1953). (2) large year class. (3) small year class. (See also Fig. 3.18).



第 3.20 図 ニシンの発生量別生体量の年令による変化。($F=0$ として)

Fig. 3.20 Relative change of biomass of a year class by age and by year class strength.

を計算してみると，Fig. 3.19 のようになる。成長のよいはずの小発生の方で，かえつて漁獲量が少なくなつているが，これは Fig. 3.18 に示すように，あてはめた成長曲線が，若令では，大発生群の方がわずかに高くなつているためで，いわば曲線あてはめの誤差である。漁獲量の曲線における数%程度の差は誤差程度のものであつて，8 才以上になつて大きくでてくる成長の差は，実質的には全くきいていないということができる。Fig. 3.20 でみればわかるように，漁獲のない状態での最大の生体量は，4 才附近にあり，8 才以上の高令群での重みは，はるかに軽くなつている。漁獲のある時は，この傾向は一そう強くなり，高令魚の影響はほとんどなくなる。以上の結論として，ニシンにおける発生量の差にともなう成長の差は，全く問題とならないということができる。



第 3.21 図　ニシンについての F と P との関係

Fig. 3.21　Population size P as a function of F.

以上の結論から推論すると，次のようなことも考えられる。ニシンにおける発生量の差を，大発生と小発生で平均 10 : 1 だとし，発生量が同じ場合でこれと同じ資源量の差の生ずる F をみると (Fig. 3.21)，だいたい 0.1 : 2.0 ということになる。大発生と小発生の間での差がたいしたことはないものとすると，F を変えた時に，もし成長に差が生ずるとしても，ほとんど影響はないという事が考えられる。

今，成長曲線あてはめの誤差についてちよつとふれたが，これはしばしばかなり重大な問題となる。たとえばマイワシについて，田中 (1958b) は $K=0.8$ とおいているが，佐藤 (1953) は 0.600 と推定している。ニシンの例では，北浜のデータから $K=0.16\sim0.26$ 程度の値を得たが，Hanamura (1953) は，$K=0.385$ とおいている。Hanamura の成長曲線を，北浜のそれと比較すると，Fig. 3.18 中の点線のようになる。北浜がくわしくのべているように，ニシンは年級によつて著しく成長が異なるので，このような差は，データの得られた時代，データの整理の仕方によつてもおこるであろう。もし M や $x_c\sim x_d$ を固定して，花村の成長曲線を用いた時，F と Y との関係がどうなるかをしらべてみよう。データは Table 3.4 に，結果は Fig. 3.19 中に点線で示してある。予想された通り，Y は高くなつている。しかし，その差は，北浜の大発生の場合と比較して，せいぜい 1 割であつて，けつして大きくはない。曲線全体の性状は，F の小さい時には上り傾斜で，これが F の増大につれて次第に水平となるという点でほとんど一致している。問題を資源の管理という面からみるならば，この程度の成長曲線の差は問題とならないといえる。

3.3.2.3　K の変化の影響　(2) ソウハチガレイの場合

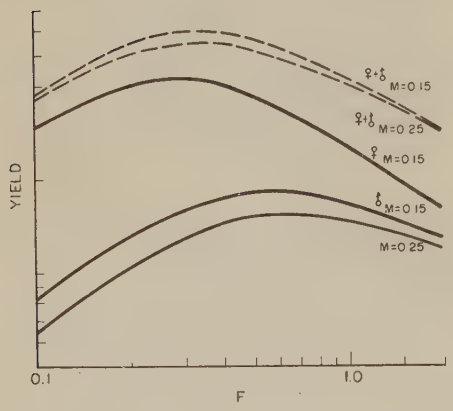
ニシンでは成長曲線に差があるといつても，それは全長 30 cm に対して 1 cm 程度のものであつて，率からいえばさほど大きくはない。ソウハチガレイでの雌雄差をみると，山陰西の例 (渡辺，1956) で，1 才では差がないが，4 才では 20 cm に対して約 4 cm，つまり約 2 割に達している。しかも最高年令が，♀では 7 才までであるのに，♂では 4 才までしかみられていない。ニシンの場合にくらべると，この差はかなり大きいということができる。いろいろな値を Table 3.5 のようにおいて，♀♂別に F と Y の関係を求めてみよう。なお，Table 3.5 の成長曲線のパラメタは，渡辺 (1956) によつて計算したものであり，x_c, x_d は測定された最小年令，及び最高年令に 1 を加えたものを用いた。M については，データがないので，一応 $M=0.15$ とおいた。又♀♂で寿命に差があるとすると，M の値が異なつていることも考えられるので，最高年令の比が 8 : 5 であることを利用して (5.4.2.1 参照)，M♂$=\frac{5}{8}M$♀$=0.24\fallingdotseq0.25$ の場合についても計算を行なつた。結果は Fig. 3.22 に示してある。Y の極大となる F の値を求めると，♀では 0.3，♂では $M=0.15$ の場合に 0.6，0.25 の場合に 0.7 程度となる。F の値で倍程度の差となる。ところで ♀♂に

第 3.5 表 ソウハチガレイのデータ

Table 3.5. Growth, age range and natural mortality for *Cleisthenes herzensteini.*

性別 Sex	x_0	w_∞	K	$x_c \sim x_d$	M
♀	0.45	6.088	0.176	1 ～ 8	0.15
♂	0.45	1.000	0.374	1 ～ 5	0.15 0.25

w_∞ は相対値を示す。M は適当に与えたものである。
w_∞ indicates relative values, M properly given vaule.



第 3.22 図 ソウハチガレイでの♀♂別の F と Y との関係

Fig. 3.22 Yield from various F by sex of a flat fish, *Cleisthenes herzensteini.*

よつて F の値に差がないものとして，♀♂の合計 (Fig. 3.22 中の点線) で Y を最大にすることを考えると，その時の F は♀についての $F=0.3$ よりわずかに高めではあるが，大差ない値となつている。もし♀♂に対して，それぞれ任意の F を加えることが可能だとすると，それぞれで極大を与えるように F をきめることができるが，その時の♀♂の Y の合計は，F が♀♂で差のない時にくらべて，ほんの数% 高くなるにすぎない。♀♂の Y の合計の曲線（図中の点線）は，成長曲線と年令範囲を♀のそれと等しくおき，$M=0.25$ とおいた時の値の2倍（♀♂を合せるので）に極めて近いことは，注目すべきであろう。

3.4 加入量の問題

海の魚では，一旦資源に加わつた以後においては，比較的安定した性質を示すものと考えられる。たとえば北海道の春ニシンを例にとると，年減少率では，年級によつてかなり大きな差があるが，一つの年級を一生を通じて見ると，比較的明瞭な指数函数的減少法則を示している (Fig. 2.3)。成長については，年級によつて多少の差はあるが，それほど大きなものではない (Fig. 3.18)。今までに，成長が著しくよくなつたために，資源量が増大したとか，漁業には大きな変化がないにもかかわらず，死亡率が増大したために，資源が減少したというような例は，知られていない。たとえば成長がよくなるという事は，逆に，乱獲その他の原因で資源が減少した結果としてあらわれている（中井，1949；北浜，1955；Miller，1949 等)。

これに対して，同じくニシンの例でいえば，加入量の年変動は極めて大きく（最小と最大では，その比が，100 倍以上，1,000 倍にも達する)，過去におけるニシン漁の豊凶は，大発生年級が比較的ひんぱんに起るか起らないかということによつて左右されている（花村，1955)。ここ数年におけるニシンの極端な不漁 (1953 年を 100 として 1958 年にはわずかに 14；農林省統計調査部 1959) は，1939 年級より後に，めぼしい年級が全くあらわれていないことと，1940 年代及び 1950 年代の前半で漁獲物中の主要部分を占めていた 1939 年級が，その数を減じて来たためである。マイワシの不漁についても同様のことがいえる。つまり，1930 年代の黄金時代から，1945 年頃の不漁への急激な下落は，ともかく加入量の減少が主因であろう

と考えられている（中井，1949；栗田，1957a）。* 東海におけるキダイの減少などは，底魚特有な乱獲状態をあらわすものと考えられようが（西海区水研，1953b），一般には，特に回遊性の魚の変動については，加入量の変化が資源変動の主要因になつているように思われる。

このように資源の変動に対して，大きな作用をもつている加入量の変動理論については，従来あまり研究がなされていなかつたと思われる。勿論，ヨーロッパでは herring や haddock を中心に，その大きな年級変動が古くから注目を集めていたし（たとえば Hjort, 1926），その変動の原因については，特に salmon では，詳細な研究がなされて来た（Neave, 1953；Wickett, 1958；Rounsefell, 1958 等）。それにもかかわらず，これを population dynamics の中で扱つたものは，少なくとも漁業の問題としては，ほとんどなかつた。加入した群の利用という面，即ち加入量一定と仮定した場合については，Baranov (1918) 以来数多くの業績があげられているのにくらべて，バランスを失しているといえよう。Ricker (1954) や Watt (1956) が指摘しているように，漁業資源の有効利用（永続的に最大の漁獲を得ること）には，加入した群を一生を通じて有効に利用するという面と，加入量をできるだけ多くするという面の二つがあるのであるから，加入量の変化を考えない population dynamics は，物の半面を示しているにすぎないといえよう。*Oncorhynchus* 属のように，一生に一度産卵し，その直前に集中的に漁獲が行なわれているものでは，むしろ加入量の問題が中心である。

近年，ニシン，マイワシの不漁，及びその原因が加入量の変動と密接に結びついているという情報，等の動機によつて，いわゆる補充機構（つまり，ごく初期時代における死亡のからくり）についての関心が高まり，研究が開始されたこと（農林水産技術会議，1958）は，大変よろこばしい事であり，近い将来，多くの生物学的情報が得られ，population dynamics においても，加入量の変動を考慮した理論の発展がなされるものと期待される。

加入量の変動には，二つの種類がある。一つは密度従属的変化，他の一つは密度独立的変化である（Ricker, 1954）。将来の漁況を予報するという立場からは，この双方が重要であるが，資源を管理するという立場からは，特に前者が重要である。それは，2.4.3 でも述べた様に，一般に純粋に海洋性の魚では，加入量は親の量を規制することによつて以外に管理できないからである。そして，その際，将来の密度独立的な変化を，前もつて予想することができないならば，これは誤差とみなす以外にない。そして，この変動を平均化したもの，つまり平均的環境について考えざるを得ない。それで，ここでは，密度従属的な加入量の変化について特に考えることにする。

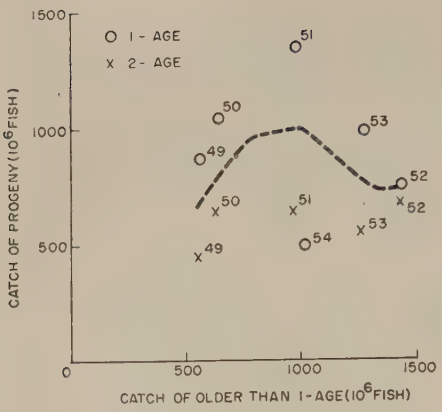
3.4.1 親と子の量的関係についての若干の実例

加入量についての理論が発展しなかつた最大の原因は，この問題について情報を与えるようなデータがとぼしく，又集めることも困難だからである。今ここで，親の量と子の量の関係を与えるようなデータを示そうとしても，日本の漁業についてはほとんどない。最も完全なものは，北海道の春ニシンである。これについては，すでに Fig. 2.10 に示した。マイワシについても，年令組成のデータが，1949 年以来集められている（山中，伊東，1957）ので，ニシンの場合と同じようにして，ある年の 2 才魚以上の漁獲量と，翌年の 1 才魚，又は翌々年の 2 才魚を比較すると，Fig. 3.23 のようになる。1954 年のデータがなければ，或は親の量が $1,000\times10^6$ 附近に加入量の最大の点があるようにも見えようが，これだけのデータでは，全くなんともいえないというべきであろう。

ニシンの場合について，もう少しくわしく検討してみよう。Fig. 2.10 のままでは，変動がはげしくてみ

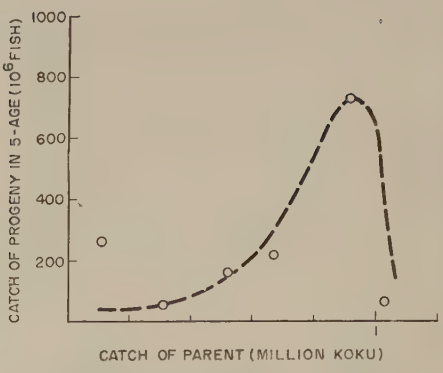
---

* ニシンのように長期にわたつて年令組成が調べられておれば，資源変動の原因が，四つの要素のうちのいずれの変動によるものであるかは，比較的容易に知り得るはずである。しかし，マイワシの場合，この種のデータがほとんどないため，漁獲量の変化及び減少の起つた当時の海洋条件等から推定する以外に，はつきりきめ手になるような情報は得られていない。アメリカの sardine の場合には，年令組成のデータから，資源減少の原因が，北部の資源（sub-population）で，加入量が急に減少した結果であると考えられているという。（山中一郎氏の Marr の研究の紹介より）。



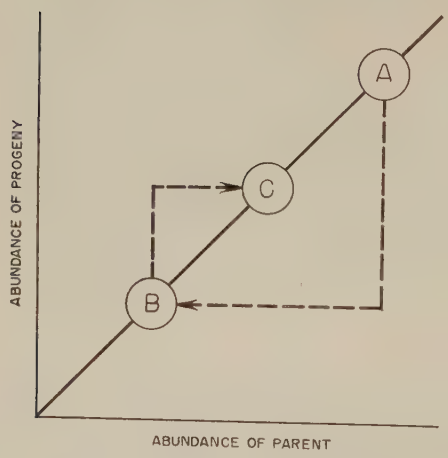
第 3.23 図 マイワシでの親子の関係，点線は1才と2才での値の平均を示す

Fig. 3.23 Relation between catches of parent and progeny. Abundance of progeny is represented by catch in 0-age and 1-age. Dotted line: mean of 0- and 1-ages.



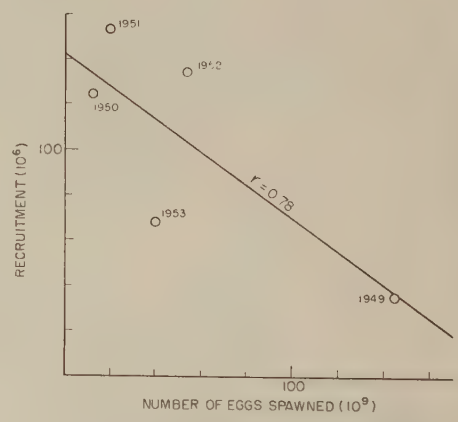
第 3.24 図 ニシンでの親子の量的関係 Fig. 2.10 より計算

Fig. 3.24 Relation between catches of parent and progeny in herring. (Derived from Fig. 2.10).



第 3.25 図 親子の量的関係の模式図

Fig. 3.25 Schematic diagram of correlation between abundances of parent and progeny.



第 3.26 図 小河原沼のワカサギでの産卵量と加入量の関係(佐藤，1954)

Fig. 3.26 Recruitment from various abundance of spawning of pond smelt, *Hypomesus olidus*, in Ogawara-numa, Aomori Prefecture.

にくいので，親の量の水準を，それぞれ 20 万石の間隔で階級にわけ，各階級ごとの子の量の幾何平均* をとつてみると，Fig. 3.24 のようになる。点の少ない両端部を除くと，ほぼ右上りの関係がみられる。しかしそうだからといつて，この関係を信用するわけにはいかない。なぜならば，各時代によつて，点がかたまる傾向があるからである。そうすると，子が多いから親が多い（子とその子の成長した親との間には，一般に比例関係がなり立つ。3.4.2 参照）という事のためにも，このような傾向のあらわれる可能性があるから

* Ricker (1954) は，密度独立的変化の仕方が対数的であると考えている。これは実際の点のちらばり方などからみてもうなずけることである（3.4.4 参照）。

である。* Fig. 2.10 を，1905～1929，1930～1946 の 2 期にわけてみると，前期では，ほとんどの点が 50 万石以上であるのに，後期ではほとんどが 50 万石以下になつている。つまり，50 万石以上の点と以下の点が全く分離されているために，年代と親の量とが交絡し，子の量における差をどちらの原因（年代又は親の量）に結びつけるべきかは，全くわからないことになる。さらにくわしく Fig. 2.10 をみると，1929～35 年で，親の量は必ずしも低くないのに，引続いて子の量が低くなつているのがわかるが，ニシンの資源がこの頃を境にして，急にゆるい状態に変化した（Fig. 3.25 における A, B 間の点線に相当する）ということがいえるように思われる。

海の魚ではないが，佐藤 (1954) のデータによつて，小河原沼（青森県）における，ワカサギの産卵量と，それから発生した稚魚数を比較すると，Fig. 3.26 のようになる。産卵量が多いほど，稚魚数の下る傾向がみられるが，年数が少ないために，相関係数 −0.78 は，10% 水準でも有意ではない。しかも，この相関係数には，1949 年のデータのみが著しく関与しているので，必ずしもこれが真の姿をあらわしているかどうかは疑わしい。しかし，小さな湖沼のような限られた水面の場合には，極端に産卵量が多いと，密度効果のために，かえつて稚魚数が減少するということは，考えられないことではない。

3.4.2 Y に対する R の影響

(25.31) 式によつて，漁獲量は，

$$Y = w_\infty R e^{-M(x_c - x_r)} \frac{F'}{Z'} D(\xi_c, \xi_d; Z')$$

で与えられる。だから，R と Y は比例関係にある。この事は，w_∞ の変化の場合 (3.3.2.1) と同様である。先に述べたように，この式はある年級からの，一生を通じての漁獲量の式とみることもできる。今年級間では R のみが異なり，他のパラメタはすべて等しいものとすると，年級を t であらわして，n 年級にわたつての平均漁獲量は，

$$Y_t = \alpha \cdot R_t \tag{34.1}$$

とあらわして，

$$\overline{Y} = \frac{1}{n}\sum_t^n Y_t = \frac{1}{n}\sum_t^n \alpha \cdot R_t = \alpha \frac{1}{n}\sum_t^n R_t = \alpha \overline{R} \tag{34.2}$$

となる。この式は，(34.1) 式で，Y_t と R_t をそれぞれ $\overline{Y}$ と $\overline{R}$ でおきかえたものにほかならない。つまり，長年の平均として考えるならば，年々の R の変動がいかに大きくても，ある一定の平均値 $\overline{R}$ のまわりに random に変動しているかぎり，平均値 $\overline{R}$ を考えるだけで充分である。個々の Y_t の分散は，

$$V(Y_t) = \alpha^2 V(R_t) \tag{34.3}$$

である。

1 年級からの漁獲量のかわりに，ある年の漁獲量を考えてみると，勿論充分に長い期間の平均をとれば，(34.2) の $\overline{Y}$ と一致するはずである。又ある特定の年の漁獲量には，一般にいくつもの年級が含まれるので，それだけ平均化されて，漁獲量の年々の分散は (34.3) より小さくなるはずである。この事は，ニシンの年々の漁獲量と，年級別の漁獲量を比較してみてもわかる。

R が密度従属的な場合には，問題はより複雑になる。Ricker (1954) は，この場合について，多くの模型的数値例を示している。ここで，ニシンのように成熟魚のみが漁獲対象となつている場合について考えてみよう。今簡単のために $x_c = x_r$ とし，加入は毎年産卵期の直前に集中的に起るものとし，又 x_d に達して死ぬものは，産卵期直前に死ぬものとする。密度従属的 R は，総産卵量 E の函数としてあらわされる。即ち，

---

* 親子がある水準で釣合つていた時，何等かの原因で子の量の水準が急に下つたとすると，Fig. 3.25 に示すように，若干の期間の非定常状態（点線）を経て，親子とも A より低い B という状態で新らしい安定状態に達するであろう。子の量がやや回復すると，再び点線に沿つて，C の状態へ変化してゆくであろう。もし A, B, C の 3 状態での観測点が充分に多い時には，非定常状態の影響は無視されて，親と子の間に完全な比例関係があるように，あやまつて判断されることになる。

$$R_t=R(E_t)^* \tag{34.4}$$

そして，総産卵量 E は，年令別の個体当り平均産卵数を g_x とおくと，

$$E_t=R_{t-x_c}g_{x_c}+R_{t-x_c-1}g_{x_c+1}e^{-Z}+\cdots\cdots+R_{t-x_d+1}g_{x_d-1}e^{-(x_d-x_c-1)Z}=\sum_{i=0}^{x_d-x_c-1}R_{t-x_c-i}g_{x_c+i}e^{-iZ} \tag{34.5}$$

或は各個体の産卵数が体重に比例するものとすると（Beverton and Holt, 1957 参照），その比例常数を χ とおいて，

$$E_t=\chi P_t=\chi\sum_{i=0}^{x_d-x_c-1}R_{t-x_c-i}w_{x_c+i}e^{-iZ} \tag{34.6}$$

とあらわされる。Ricker (1954) によれば，R_t は必ずしも安定するとは限らないので，漁業（その強さ）が安定している場合においても常に R を常数とおくわけにはいかないが，一定の条件（一般に海洋性魚類では，これがみたされていると思われる）のもとでは，安定することもある。そのような条件の時には，

$$E=\chi R(E)\sum_{i=0}^{x_d-x_c-1}w_{x_c+i}e^{-iZ} \tag{34.7}$$

となり，したがつて，

$$\frac{E}{R(E)}=\chi\sum_{i=0}^{x_d-x_c-1}w_{x_c+i}e^{-iZ} \tag{34.8}$$

を E について解けば，安定した E が求められ，これから R, P さらに Y を計算することができる。

3.4.3 親と子の量の間の関係についての数学的モデル

親の量，或は産卵量と，子の量或は加入量の間の関係は，産卵から加入までの間における，密度従属的死亡によつて決定される。もし死亡がすべて密度独立的であれば，その値がいかに大きくても，又年々大きく変動しても，期待値としては，産卵量と加入量の間に比例関係がなり立つ。Ricker (1954) は，密度従属的死亡は，ごく若い時期にのみ集中的に作用すると考えている。これは，たとえばニシンの例をみてもうなずけることである。

産卵量 E と加入量 R との間の関係は，最も一般的には，

$$R=E\cdot e^{-\int_0^{x_r}M_x dx} \tag{34.9}$$

とあらわされる。E と R の関係は，

$$M=\int_0^{x_r}M_x dx \tag{34.10}$$

の値によつてきまる。この積分の値は，二つの仕方によつて変る。M_x 自身が変化する場合，及び x_r が変化する場合である。前者を Case I，後者を Case II としよう。

Case II では，年令 x のかわりに，ある成長発育段階 ξ を考え，それぞれの ξ に対して M_ξ が決定されるものと考えると，

$$M=\int_0^{x_r}M_x dx=\int_0^{\xi_r}M_\xi\frac{dx}{d\xi}d\xi \tag{34.11}$$

となる。ここで ξ_r は固定されているとすると，$M_\xi\dfrac{dx}{d\xi}$ を Case I の M_x に対応させると，Case I と全く同様にあつかうことができる。

Case I については，密度従属性の型に応じて，次の四つのモデルを考えよう。

---

* R_t とは t 年の産卵された年級の加入量を示す。だから実際に加入する時期は，$t+x_c$ 年ということになる。

$$\left.\begin{array}{ll} \text{Type A} & M_x = \mu(x,\ N_x) \\ \text{Type B} & M_x = \mu(x,\ N_{x_1}),\ (x \geq x_1) \\ \text{Type C} & \dfrac{dM_x}{dx} = \mu(x,\ N_x,\ M_x) \\ \text{Type D} & M_x = \displaystyle\int_0^x \mu(x,\ x' N_{x'})\, dx' \end{array}\right\} \qquad (34.12)$$

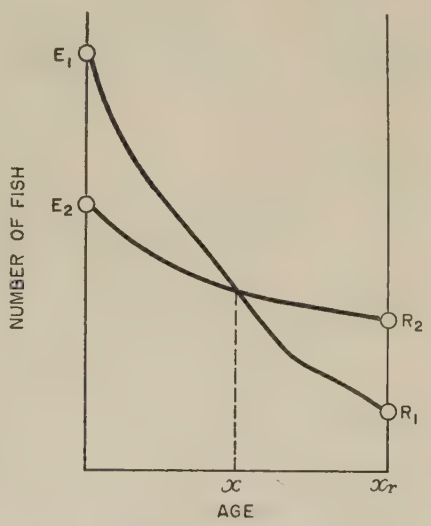
Type A は，死亡係数がその時の密度のみによつて決定される場合である。最も普通に考えられる密度従属的死亡の型である。Type B は，年令 x_1 以後の死亡係数が，x_1 の時の尾数 N_{x_1} によつて決定される場合である。親が子を食う場合は，Type B で $x_1=0$，即ち産卵時期とおいた場合に相当する。Type C は，死亡係数の変化が，その時の尾数によつて決定される場合で，N の大きいほど害敵がよけいに集つて来たり，自己中毒効果のある場合等である。Type D は，ある時の密度が時間的おくれをもつて死亡に作用するような場合，たとえば餌料の不足が何日かたつてから死亡をひきおこすというような場合である。いわば Type B で x_1 が 1 点でなく，連続的になつた場合である。

3.4.3.1 Type A

微分方程式は，

$$\frac{dN}{dx} = -M_x N = -\mu(x, N) \cdot N \qquad (34.13)$$

である。この方程式の右辺は x と N だけの函数である。このような場合，もし $E_1 > E_2$ であれば必ず $R_1 \geqq R_2$ である。それは μ の型にはよらない（勿論 μ が一定の条件をみたしている必要はあるが）。このことは，数学的に証明されるが，次のようにしても証明される（Fig. 3.27）。もし，$E_1 > E_2$ で $R_1 < R_2$ となつたとすると，この二つの死亡曲線は，$x=0 \sim x_r$ の間のどこかで交わらなければならない。しかし，もし交わるとすると，交わつた点においては，dN/dx が少なくとも二つの値をもつことになる。これは最初の仮定に反する。故に，二つの死亡曲線は交わることがない。$E_1 > E_2$ ならば $R_1 \geqq R_2$ でなければならない。いいかえると，産卵量が多いほど加入量も多くなる。ある産卵量の水準で，加入量が最大となり，それ以上の産卵量になると，かえつて加入量が減少するというようなことはない。この点が，Type A の著しい特徴である。



第 3.27 図　異なつた産卵量からの生存の模式図

Fig. 3.27 Schematic mortality curve starting from two different levels of spawning amount.

Type A の場合の簡単な例をあげよう。

$$\mu(x, N) = a(x) + b(x) N \qquad (34.14)$$

とおく。$a(x), b(x)$ は x のみの函数である。微分方程式は，

$$\frac{dN}{dx} = -\{a(x) + b(x) N\} N \qquad (34.15)$$

となる。これは Bernoulli の式である。$\zeta = 1/N$ とおくと，この式は，

$$\frac{d\zeta}{dx} - a(x)\zeta = b(x) \qquad (34.16)$$

となり，これを解いて $x=0$ で $\zeta = 1/E$ とおくと，

$$\zeta = \frac{1}{N} = e^{\int_0^x a(x)dx} \left\{ \int_0^x e^{-\int_0^x a(x)dx} b(x)\, dx + \frac{1}{E} \right\}$$

となる。ここで，

$$\left.\begin{aligned} &e^{-\int_0^x a(x)dx}=\alpha(x) \\ &\int_0^x e^{-\int_0^x a(x)dx}b(x)\,dx=\beta(x) \end{aligned}\right\} \tag{34.17}$$

とおくと，結局，

$$\frac{1}{N}=\frac{1}{\alpha(x)}\left(\beta(x)+\frac{1}{E}\right) \tag{34.18}$$

したがつて，

$$N=\frac{\alpha(x)}{\beta(x)+1/E} \tag{34.19}$$

となる。$x=x_r$ では $N=R$ であるから，

$$R=\frac{\alpha(x_r)}{\beta(x_r)+1/E} \tag{34.20}$$

である。(34.17) 式であきらかなように，$\alpha(x_r)$ は $a(x)$ のみの函数であり，$\beta(x_r)$ は $a(x)$ と $b(x)$ の函数である。(34.20) 式は Beverton and Holt (1957) の与えた式と同じものである。

3.4.3.2 Type B

M_x は次のようにおかれる，

$$\left.\begin{aligned} &M_x=M_0 && 0<x<x_1 \\ &M_x=\mu'(x, N_{x_1}) && x_1\leqq x \end{aligned}\right\} \tag{34.21}$$

したがつて，

$$N_{x_1}=Ee^{-M_0x_1}=\alpha'E \tag{34.22}$$

であり，

$$M_x=\mu'(x, N_{x_1})=\mu(x, E) \tag{34.23}$$

となる。つまり x_1 以後の死亡係数は，産卵量の函数であるということができる。加入量は，

$$R=\alpha'Ee^{-\int_0^{x_r}\mu(x,E)dx} \tag{34.24}$$

であり，R の E による変化は，

$$\frac{dR}{dE}=\alpha'e^{-\int_0^{x_r}\mu(x,E)dx}\left(1-E\int_0^{x_r}\frac{\partial\mu}{\partial E}dx\right) \tag{34.25}$$

である。故に，

$$\int_0^x\frac{\partial\mu}{\partial E}dx \quLessEqGtr \frac{1}{E} \tag{34.26}$$

にしたがつて，R は E の増大につれて，増大，水平，減少を示す。左辺が正の場合には，$E\to\infty$ の時に，右辺は 0 となるので，一般にはある E の水準で極大があらわれる。

Type B の例として

$$\mu(x, E)=a(x)+b(x)E \tag{34.27}$$

を考えてみよう。加入量は，

$$R=\alpha'Ee^{-\left(\int_0^{x_r}a(x)dx+E\int_0^{x_r}b(x)dx\right)}$$

となるが，ここで，

$$\left.\begin{aligned} &\alpha'e^{-\int_0^{x_r}a(x)dx}=\alpha(x_r) \\ &\int_0^{x_r}b(x)\,dx=\beta(x_r) \end{aligned}\right\} \tag{34.28}$$

とおくと，

$$R=\alpha(x_r)Ee^{-\beta(x_r)E} \tag{34.29}$$

したがつて，

$$\frac{dR}{dE}=\alpha(x_r)e^{-\beta(x_r)E}(1-\beta(x_r)E) \tag{34.30}$$

となる。

$$E=\frac{1}{\beta(x_r)}=\frac{1}{\int_0^{x_r}b(x)\,dx} \tag{34.31}$$

の所で $dR/dE=0$ となる。$\beta(x_r)>0$ ならばある E の値の所に R の極大があらわれ，$\beta(x_r)<0$ ならば，E が負の範囲に極小があり，E の正の範囲では単調に，しかも加速度的に増大する曲線となる。(34.29)式は，Ricker (1954) の与えた再生産曲線と同じものである。

3.4.3.3 Type C

方程式は，

$$\left.\begin{aligned}\frac{dN}{dx}&=-MN\\ \frac{dM}{dx}&=\mu(M,N)\end{aligned}\right\} \tag{34.32}$$

と連立方程式の型で与えられる。μ の型として二つの場合を例にあげて考える。一つは，M の函数と N の函数の積の型になつている場合で，最も簡単な例として，

i)　$\mu(M,N)=a(M-M_0)(N-\bar{N})$ (34.33)

が考えられる。害敵や寄生虫の増殖率が餌料生物或は宿主の量によつて変化する場合である。他の一つは，M の函数と N の函数の和の型になつているもので，簡単な例として，

ii)　$\mu(M,N)=aN-b(M-M_0)$ (34.34)

が考えられる。N に応じて害敵が集つたり，有害物質が生産されるような場合があらわされる。

i)　の場合，

$$N'=\frac{N}{\bar{N}},\quad M'=\frac{M-M_0}{M_0},\quad x'=M_0x,\quad A=\frac{a\bar{N}}{M_0} \tag{34.35}$$

とおくと，

$$\left.\begin{aligned}\frac{dN'}{dx'}&=-(M'+1)N'\\ \frac{dM'}{dx'}&=AM'(N'-1)\end{aligned}\right\} \tag{34.36}$$

となる。この式を差分方程式で近似し，$x_r=1.0$ として，数値的に R と E の関係を求めると，Fig. 3.28 となる。

ii)　の場合，

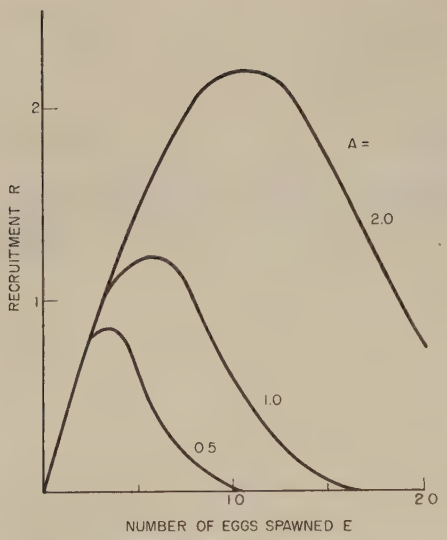
$$N'=\frac{a}{bM_0}N,\quad M'=\frac{M-M_0}{M_0},\quad x'=M_0x,\quad B=\frac{b}{M_0} \tag{34.37}$$

とおくと，

$$\left.\begin{aligned}\frac{dN'}{dx'}&=-(M'+1)N'\\ \frac{dM'}{dx'}&=B(N'-M')\end{aligned}\right\} \tag{34.38}$$

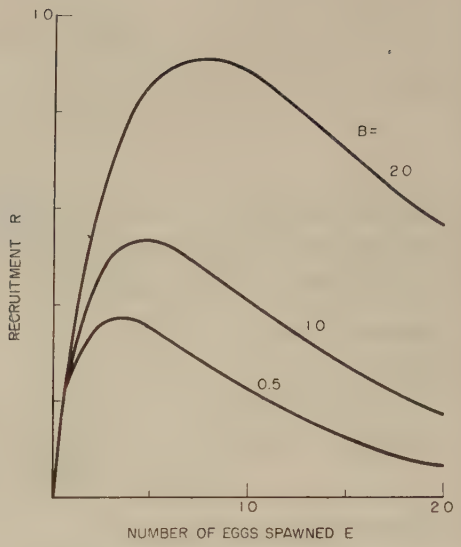
これを i) の場合と同様にして解くと，Fig. 3.29 のようになる。

i)，ii) とも形こそちがえ，一般的傾向は，Ricker の型の再生産曲線 (34.29) 式と同様である点を注目すべきである。



第 3.28 図 産卵量と加入量の関係，Type C の i) の場合

Fig. 3.28 Reproduction curve for Type C-i.



第 3.29 図 産卵量と加入量の関係，Type C の ii) の場合

Fig. 3.29 Reproduction curve for Type C-ii.

3.4.3.4 Type D

このモデルは，ある効果が死に到らしめるまでに，時間的おくれのある場合に考えられる。たとえば，一時の食糧の不足が，すぐその場で死をもたらさないで，一定の時間がたつた時にはじめて死ぬというような場合，或は病気にかんせんしてから，一定時間たつてから死ぬという場合である。同じ時間おくれといつても，食糧不足が一般的に体力をおとろえさせ，その後の死亡率を高めるというような場合は，Type C のモデルとしても考えられる。一般的に考えて，すべての作用はある瞬間のみに作用するだけでなく，後々まで効果をのこすものであろうから，このモデルは最も一般的な型で，いろいろと複雑な型の密度従属的死亡をあらわすことができるであろう。又それだけに，数学的解法も複雑となる。だいたいは，ある点で極大のあらわれる曲線を与えるものと考えられる。

3.4.3.5 二つの基本的型

A～D のモデルから得られる曲線を大別すると，単調に増大する場合と，ある E の水準で極大のあらわれる場合とにわけられる。前者の例が Type A であり，後者の典型的な例が Type B である。そして，Type A の例として，Beverton and Holt (1957) の再生産曲線が，又 Type B の例としては，Ricker (1954) の曲線が得られる。

我々は現在まだ再生産曲線がいかなる型であるべきかという事については，ほとんどなんの知見ももつていない。ただ現実のデータから，子の量は親の量が多いほど多くなる傾向があるとか，ある親の水準の所に子の量の極大があるらしい，という程度のことを推定しているにすぎない。又密度従属的死亡の型としては，各種の魚種について，生物学的見地から，いろいろな可能性が考えられているが，まだある魚種について，どの型であつて，しかもどのような基本方程式になつているというようなことは，全くわかつていない。だから，今ここで，たとえば Fig. 3.28 と Fig. 3.29 の曲線の差を論じても，ほとんど意味がない。我々はまず，親子の量の間に関係があるかどうかをあきらかにし，もし関係があるならば，再生産曲線は極大をもつような型であるかどうか，という点を考えることが必要であろう。そして，極大をもつ場合の基本型としては Ricker の曲線を，又単調増大の場合の基本型としては Beverton and Holt の曲線を考えるのが便

利と思われる。Beverton and Holt の曲線は，特殊な場合として，親子の関係のみられない場合にも拡張される。*

ところで，これ等二つの基本型の差について，少し考えてみよう。勿論極大のあるなしが根本的差であるが，曲線の左側，つまり上昇部分の形を比較してみる。Beverton and Holt の式は，(34.20) 式のように，

$$R=\frac{\alpha}{\beta+1/E}$$

とあらわされるが，これをかきなおして，

$$\frac{\beta}{\alpha}R=\frac{\beta E}{\beta E+1} \tag{34.39}$$

とする。又 Ricker の式は (34.29) によつて，

$$R=\alpha E e^{-\beta E}$$

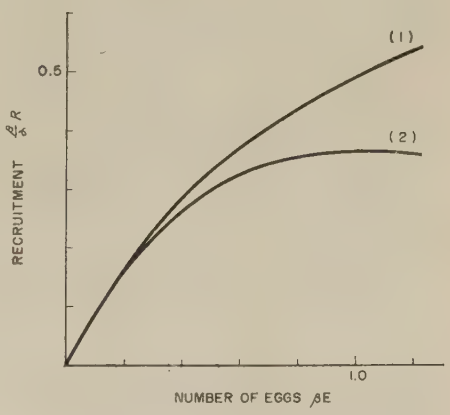
であるが，同様にかきなおして，

$$\frac{\beta}{\alpha}R=\beta E e^{-\beta E} \tag{34.40}$$

となる。両式とも βE の小さい範囲では，近似的に，

$$\frac{\beta}{\alpha}R\fallingdotseq\beta E(1-\beta E) \tag{34.41}$$

となり，一致する。一般の βE については，βE を横軸に，$\frac{\beta}{\alpha}R$ を縦軸にとつて，曲線を画くと，Fig. 3.30 のようになる。Fig. 3.30 そのままでは，βE が 1.0 附近になると，二つの曲線はかなりひらいてくるが，もし問題が，α,β を推定して曲線をあてはめるという事であると，再生産が実質的に下り出す部分が明らかでないかぎり，どちらの曲線をあてはめても，ほとんど同じ程度の結果が得られるであろう。



第 3.30 図　Beverton and Holt (1957) (1) と Ricker (1954) (2) の再生産曲線の比較

Fig. 3.30 Comparison between reproduction curves of Beverton and Holt (1957) (1) and Ricker (1954) (2).

3.4.4 再生産曲線のあてはめ方

3.4.4.1 Ricker の曲線

平均として，

$$R=\alpha E e^{-\beta E}$$

という関係があつたとしても，α や β は年により変化するであろう。我々が R や E を観測する場合，必ず誤差をともなうであろう。そのために，個々の点は，期待される位置からふれているであろう。ここで，実際のデータに曲線をあてはめる問題が生ずる。Beverton and Holt は，この問題を考える際に，式に含まれるパラメタが，年により random に変動し，観測誤差はないものと仮定して，パラメタの平均値を求めている。観測誤差についてはともかくとして，パラメタが年により変動するという考え方は正しいと思う。もし α,β が変動するものとすると，

$$\left.\begin{aligned}\alpha&=\bar{\alpha}(1+\delta)\\ \beta&=\bar{\beta}(1+\varepsilon)\end{aligned}\right\} \tag{34.42}$$

とあらわして，

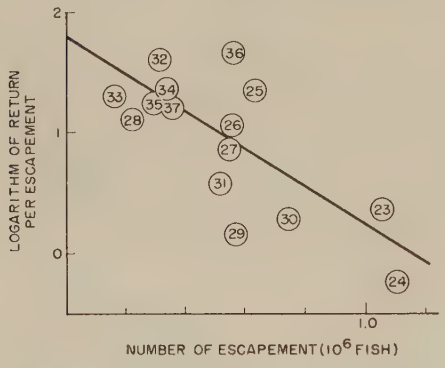
* Beverton and Holt の曲線では，E がある程度大きくなると，飽和点に達して R はほとんど一定となる。このような E の範囲についてだけ観測値が得られているとすると，E の値にかかわらず，R は平均として一定であるということになる。

$$R=\bar{\alpha}(1+\delta)Ee^{-\bar{\beta}(1+\varepsilon)E} \qquad (34.43)$$

両辺を E で割つて対数をとると，

$$\log\frac{R}{E}=\log\bar{\alpha}-\bar{\beta}(1+\varepsilon)E+\log(1+\delta)=\log\bar{\alpha}-\bar{\beta}E+\log(1+\delta)-\bar{\beta}E\varepsilon \qquad (34.44)$$

となる。δ,ε がともに 0 ならば，$\log R/E$ は E に対して右下りの直線関係を与える (Rounsefell, 1958)。もし ε のみが 0 ならば，個々の点は，この直線のまわりに，E によらず一定の分散をもつた分布 ($\log(1+\delta)$ の分布) にしたがつて分布する。δ,ε ともに 0 でない時は，直線のまわりのばらつきが，E が大きいほど大きくなる。実際のデータについてしらべてみると，Rounsefell (1958) の Fig. 24 では，E の大きいほど点のばらつきの大きいことがうかがわれるので，ε は 0 でないとみられるが，その程度はさほど大きくなく，一応 δ のみを考えてみても，それほど不当とは思われない。



第 3.31 図 Skeena River での sockeye の親の量と子の回帰率の関係。円内の数字は年。

Fig. 3.31 Relation between escapement and return per escapement for sockeye in Skeena River.

ε が 0，即ち β は変化しないものとし，又 $\log(1+\delta)$ が正規分布をする場合* には，問題は典型的な直線あてはめとなる。ごく普通の方法 (たとえば Snedecor, 1946) によつて，各種の要因による $\log\bar{\alpha}$ や $\bar{\beta}$ の差の分散分析を行なうことができる。Shepard and Withler (1958) のデータによつて Skeena River の sockeye salmon について計算してみると，** 1908～1952 年の 45 年級を 15 年級づつの 3 期にわけてみると，$\log R/E$ と E との相関係数が，それぞれ 0.390, 0.750, 0.099 となり，第 2 期 (1923～37 年級) のみで有意となつている (Fig. 3.31)。Fig. 3.31 にあてはめられた直線から，再生産曲線のパラメタを推定してみると，

$\log\bar{\alpha}=1.822$　　$\bar{\alpha}=6.184$

$\bar{\beta}=1.587$　　産卵魚 100 万尾当り

となる。R が極大となる escapement の水準は，$1/\bar{\beta}$ に等しいが，だいたい 63 万尾となる。

3.4.4.2 Beverton and Holt の曲線

Beverton and Holt は，再生産曲線

$$R=\frac{\alpha}{\beta+1/E}$$

で，α,β が変動したとして，その平均を求める方法を示している。しかし，次のように考えることもできる。即ち，両辺の逆数をとると，

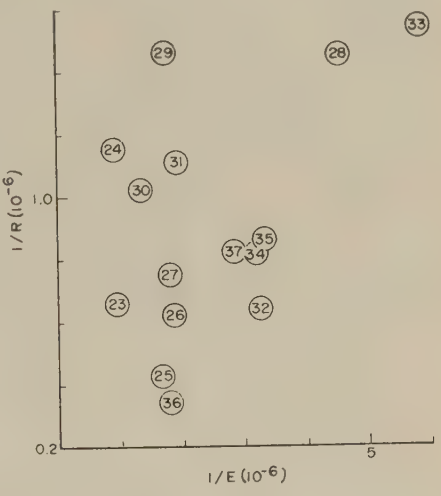
---

* 親と子の関係についての図では，多くの場合，点がひどくちらばつて，しばしば特別に高い値をとる点がみられる。縦軸方向のばらつきは，平均の高いものほど大きいようにみえる。このような時に，対数をとると分散が平均と独立となり，又分布がより対称的となる。Canada の Skeena River での sockeye salmon の例でも，このことはあきらかである (Shepard and Withler, 1958, Figs. 2 と 4)。このことから考えると，δ が正規分布をすると考えるより，$\log(1+\delta)$ が正規分布をすると考える方が，実際に合つていると思われる。Ricker (1954) は，このことについて若干の考察をしている。α は密度独立的死亡からの生残率をあらわすものであり，生残りは普通指数函数として与えられることを考えても，このことはうなずける。

** Shepard and Withler は Skeena River の sockeye について，産卵親魚数 (escapement) と，それからの回帰量 (resultant population) の推定を行なつている。Escapement は E ではないが，E に比例するものと考えられる。それで escapement に対しても E の字をそのまま用いることにする。R/E は 1 尾の親当りの子の生産数ということになる。

$$\frac{1}{R}=\frac{\beta}{\alpha}+\frac{1}{\alpha}\frac{1}{E} \tag{34.45}$$

となるので，R の逆数と E の逆数の間に直線関係のあることがわかる。そしてもし，β のみが正規分布にしたがつて変動するとした場合には，普通の直線あてはめの問題に帰着されるが，もし α が変動するものとすると，分散の一様性が失なわれて，複雑になる。Fig. 3.31 と同じデータで，$1/R$ と $1/E$ の関係をプロットすると，Fig. 3.32 となるが，ここではほとんど直線関係があるようにはみえない。実際の曲線のあてはめにあたつては，いろいろな困難が予想される。



第 3.32 図 Skeena River の sockeye の親子の関係，両軸とも逆数で示す。データは Fig. 3.33 に同じ

Fig. 3.32 Relation between reciprocals of escapement and recruitment for sockeye in Skeena River.

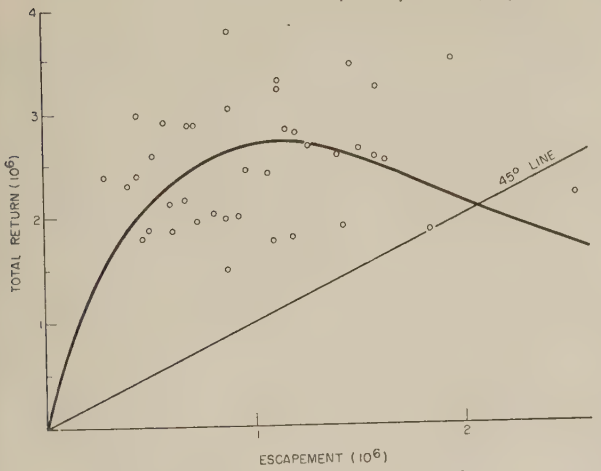
3.4.4.3 再生産曲線あてはめの際の問題

Rounsefell (1958) は，Alaska の Kurlak River の sockeye salmon について，もし E と R の関係が Ricker の曲線に従う時には，$\log R/E$ が E に対して直線関係になることを利用して，再生産曲線を求めている。しかし，ここで直線あてはめの上で，若干注意を要する点がある。普通の直線あてはめの問題で，回帰係数（ここでは β）が有意となると，直線はあてはまつたものとみなされる。しかし，今の場合，β が有意であるということは，$\beta=0$ という帰無仮説が否定されたことであつて，これは，R が E と比例関係にはないという事に外ならない。だから，もし R が E に無関係に一定だとしても，β が有意という結果のでてくる可能性は大きい。つまり，

$$R=C=\text{const.} \tag{34.46}$$

とおくと，

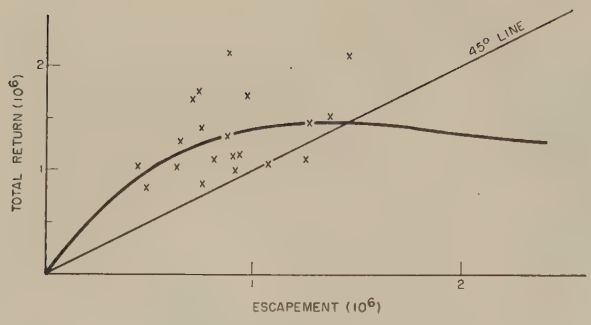
$$R/E=C/E,\quad \log R/E=\log C-\log E \tag{34.47}$$



第 3.33 図 Alaska, Kurlak River の sockeye についての産卵親魚数と回帰尾数の関係(1890～1928 年級)，(Rounsefell, 1958 のデータより)

Fig. 3.33 Relation between escapement and total return for sockeye in Kurlak River, Alaska (1890–1928 year classes).

となる。この曲線は上に対してへこんだ型となつているが，E の変動の範囲がせまい時は，非常に直線に近くなる。誤差がよほど小さくないと（一般の再生産曲線の場合に，そのような事はほとんど期待されないが），これを直線と区別することは困難である。ということは，R が E と無関係に一定の場合にも，Ricker の曲線が有意にあてはまつてしまうことになる。Rounsefell (1958) の Fig. 24 をみると，相関係数は高いが，回帰線がわずかに曲つているようにみえる。つまり，R が一定であるという事が考えられる。Rounsefell の Tables 6 及び 12 によつて，R と E の関係を直接比較してみると，Fig. 3.33, Fig.



第 3.34 図 Alaska, Kurlak River の sockeye についての産卵親魚数と回帰尾数の関係(1929～1948 年級), (ROUNSEFELL, 1958 のデータより)

Fig. 3.34 Relation between escapement and total return for sockeye in Kurlak River, Alaska (1929–1948 year classes).

3.34 となる。特に前期について，R と E が関連しているとは思われない。R は E によらず一定といえる。

このようなあやまりをさけるためには，再生産曲線をあてはめる前に，親と子の量の間に関係があるかどうかを，まずたしかめておかねばならない。しかも，この関係は，直線関係であるとは限らないので，統計的取扱いは，よほど慎重になされなければならない。

3.4.5 密度独立的な死亡のランダムな変動の影響

平均的には，ある再生産曲線が考えられても，諸パラメタの変動が大きくなると，平均的過程から著しくはずれた結果が得られることもある (RICKER, 1954 参照)。したがつて，資源管理を考える場合に，この種の変動の影響を考慮に入れることが必要である。誤差の影響について論ずる際に，当然その誤差の起り方が問題になる。例として RICKER の式について考えてみよう。この場合に α, β の二つのパラメタがランダムな変動をするものと考えられる。その分布型については，いろいろな型が考えられよう。しかし，3.4.4.1 で述べたように，α の変化，即ち密度独立的死亡の変化が特に重要と思われるので，この点のみをとりあげ，又 α の分布については，対数正規型を仮定することにしよう。*

最も簡単な場合として，たとえばカラフトマスのように，産卵群が単一年令からなる場合を考える。E_{t-1} なる産卵群から，R_t なる子供の加入量が期待され，実際には $R_t(1+\delta_t)$ なる値が得られ，そのうち f_t だけを漁獲するものとしよう。再生産曲線として，RICKER の式を用いると，以上の関係を，

$$E_t=\alpha E_{t-1}e^{-\beta E_{t-1}}(1+\delta_t)(1-f_t) \tag{34.48}$$

とあらわすことができる。これを書きなおして，

$$\frac{E_t}{E_{t-1}}=\alpha(1+\delta_t)(1-f_t)e^{-\beta E_{t-1}} \tag{34.49}$$

さらに，

$$\frac{E_n}{E_0}=\frac{E_n}{E_{n-1}}\cdot\frac{E_{n-1}}{E_{n-2}}\cdot\cdots\cdots\cdot\frac{E_2}{E_1}\cdot\frac{E_1}{E_0}=\alpha^n\prod_{t=1}^{n}(1+\delta_t)(1-f_t)\cdot e^{-\beta\sum_{t=0}^{n-1}E_t} \tag{34.50}$$

を得る。したがつて，両辺の対数をとり整理すると，

$$\frac{1}{n}\sum_{t=0}^{n-1}E_t=-\frac{1}{n\beta}\log\frac{E_n}{E_0}+\frac{1}{\beta}\log\alpha+\frac{1}{n\beta}\sum_{t=1}^{n}\log(1+\delta_t)+\frac{1}{n\beta}\sum_{t=1}^{n}\log(1-f_t) \tag{34.51}$$

ここで，

$$\left.\begin{aligned}&\log(1+\delta_t)=\varepsilon_t\\&1-f_t=e^{-qX_t}\ \text{或は}\ \log(1-f_t)=-qX_t\end{aligned}\right\} \tag{34.52}$$

とおき，

$$\left.\begin{aligned}&\frac{1}{n}\sum_{t=0}^{n-1}E_t=\bar{E}\qquad\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\varepsilon_t=\bar{\varepsilon}\\&\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}X_t=\bar{X}\end{aligned}\right\} \tag{34.53}$$

---

* RICKER (1954, 1958a) は，誤差 δ が正規分布をするものとして，$\delta>0$ の場合は $1+\delta$，$\delta<0$ の場合には $1/(1+\delta)$ を相対誤差として期待値に乗じている。これは対数正規に近いものであるが，あまり技巧的である。対数正規分布の仮定は，より自然であり，より合理的である。

とかくと，(34.51) 式は

$$\overline{E}=-\frac{1}{n\beta}\log\left(\frac{E_n}{E_0}\right)+\frac{1}{\beta}\log\alpha+\frac{\overline{\varepsilon}}{\beta}-\frac{q}{\beta}\overline{X} \quad (34.54)$$

となる。ここで n が充分に長い期間であるとすると，右辺の第 1，3 項はほとんど 0 となるので，

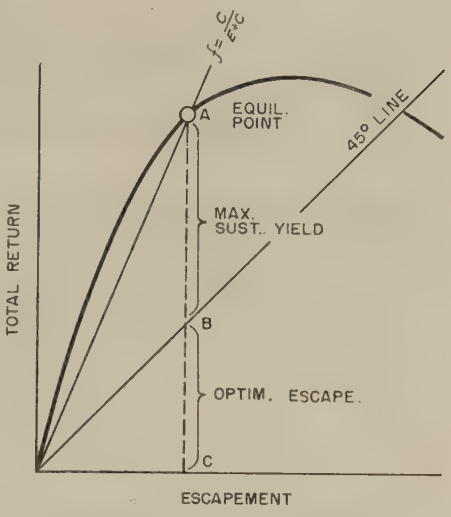
$$\overline{E}=\frac{1}{\beta}\log\alpha-\frac{q}{\beta}\overline{X} \quad (34.55)$$

となる。この式をかきなおすと，

$$\alpha\overline{E}e^{-\beta\overline{E}}=\frac{\overline{E}}{1-\overline{f}} \quad (34.56)$$

となる。即ち，漁獲率が $\overline{f}$ に等しく，しかも一定の時の，平衡状態の位置がちょうど平均に相当していることになる。*

一方このような状態での漁獲量がどうなるかをみると，漁獲尾数を C_t として，



第 3.35 図　再生産曲線と漁獲との関係
Fig. 3.35 Reproduction curve and maximum sustainable yield.

$$\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}C_t=\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}N_t'\cdot f_t=\mathrm{Cov}(N_t',f_t)+\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}N_t'\cdot\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}f_t \quad (34.57)$$

となるので，資源が多い時に漁獲率が高くなる傾向の強いほど，C_t の平均が高くなることになる。

ここでもし，f_t を一定としてこれを f とおくと，

$$\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}C_t=\frac{f}{1-f}\overline{E}=\alpha\overline{E}e^{-\beta\overline{E}}\cdot f \quad (34.58)$$

即ち，$\overline{E}$ に対して期待される再生産が得られ，そのうちの f だけが漁獲される場合，つまり全くランダムな変動のない場合の結果と一致する。もし E_t を常に一定の E に保つたとすると，

$$\frac{1}{n}\sum C_t=\frac{1}{n}\alpha Ee^{-\beta E}\sum(1+\delta_t)-E \quad (34.59)$$

となるが，$\log(1+\delta_t)$ が正規分布をするという仮定のもとでは，

$$\frac{1}{n}\sum(1+\delta_t)>1 \quad (34.60)$$

となるので，平均の漁獲量は，$\overline{E}$ が E に一致する場合で，しかも漁獲率が毎年一定である場合より高いということになる。この差は，ランダムな誤差の大きいほど大きくなる。Ricker (1958a) は，模型的な実験によつて，同様の結論に達している。

以上のことから，たとえば salmon のような魚の資源の管理についての重要な示唆が得られる。そもそも，salmon のように，資源管理が，再生産の維持という点にだけむけられている場合には，Ricker (1954) がくわしく述べているように，親の量 (escapement) と子の量 (progeny population) の間の関係で，45° 線より上の部分の最も大きくなる点に産卵資源量を管理する時に，最大でかつ持続可能な漁獲が期待される (Fig. 3.35 のA点)。もしランダムな誤差が加わると，この関係はみだされるわけであるが，すでに述べたように，f を年々一定に保つと，平均としてABに相当する漁獲が得られる。これをもし，E を一定として，これに合せて年々の f_t を変化させたとすると，平均の漁獲はABより高くなり，その程度はランダムな誤差の大きいほど強い。この意味では，f を一定に保つ管理法よりも，E を一定に保つ管理法の方が

* Fig. 3.35 で，傾斜 $\frac{1}{1-f}$ で，原点を通る直線を引き，これと再生産曲線の交点をもとめると，これが，ランダムな変動がない場合で，漁獲率 f の時の平衡点である。

すぐれているといえる。もつとも，これを実際の漁業に適用するには，RICKER (1958a) のいうように，いろいろな問題があろう。又 ROUNSEFELL (1958) は，年級間の競合や食害の影響を考えると，年級変動の大きい方が有利だとしているが，そのためにはむしろ E を年により変動させる必要がある。もつとも，RICKER (1950) は，Canada の Cultas Lake での実験で，ROUNSEFELL とは逆の結果を得ているので，一概にはなんともいえない。

3.5 群衆 (Community) の問題

動物の社会で，特定の種が他と独立に存在することはあり得ない。他の動物は，ある動物の環境の一つとして，ある場合は predator として，或は敵として，又ある場合は prey として，或は仲間として，負或は正の作用を与えている (ODUM, 1953；宮地・森，1957 参照)。種間関係は，陸上動物や，湖水，河川などの場合では，生態学の重要な部分として，深く観察や研究が行なわれている。一方海洋性魚類の生態学では，種間関係が特に注目されたのは，比較的最近のように思われる (花岡，1954)。勿論古くから，一部においては注目され，VOLTERA (1928) のように，魚種間の関係を数理的に扱つた例はあるが，食物連鎖の問題としてつつこんで研究し，或はその結果を population dynamics に応用しようという試みは，あまりなかつたようである。

最近この方面の重要性が特に注目され出し，具体的な漁業の問題で，種間関係を論じたものが目立つて来た (花岡，1954；内海区水研，1957；伊東 1957；横田・三田，1958 等) しかし，これ等は，まだ理論的考察，又は漁獲量の経年変動，魚種別の分布等のデータをもとにした臆測的論議を出ないものであつて，成果はむしろ将来に期待される。基礎的な面での研究には，いくつかの成果があらわれている。食性調査を通じての prey-predator 関係の研究 (林，1956；池田，1957 等)，実験室内での飼育による餌の転換の研究 (畑中その他，1956，1957 等)，VOLTERA の考え方にもとづいて，いろいろな魚種ごとの漁獲量の経年変化を，相似型計算機を用いて比較し，各種の数学的モデルを試行誤差法的に検討する (土井，1960) 等，各種の研究が進められている。しかし，現状では，BARANOV 以来の population dynamics を，群衆の段階にまで拡張できるほど充分の知見が得られているとは思われない。

若干の研究結果 (伊東，1957；畑中，1958 等) によると，イワシ類のような食性段階の低い魚類では，食害による死亡が漁獲量と比較し得る程度，或はそれ以上に大きな量になる可能性は充分にあり，漁業による間引と同等以上の影響を資源変動に与えることは充分にあり得る。そうだとすると，この種の魚類については，自然死亡を一定とおいて，魚種別に漁獲の効果をうんぬんする現在の population dynamics が，全く的はずれのものであるかもしれない，というおそれがある。群衆の問題の重要なゆえんである。

現在の知識によつて，種間関係についてのモデルを考えるとすれば，次のような諸点を考慮する必要があろう。

a) 第一の魚種が二の魚種を主要な餌としており，双方とも漁獲の対象となつている場合は，全体として第二の魚種の生産性が最高になるように管理されるべきであり，又転換効率を考えると，蛋白生産という意味からは，* 第一の魚種のいない場合に，人間のとり分が最大となる (内海区水研，1957, p. 214)。この理論にもとづくと，我々はまず第一の魚種に対する漁獲を強化して，食害の量を減少させ，ついで第二の魚種の増加にともなつてその漁獲を強化して，今まで食害によつて失なわれていたものを人間が利用するという方法が合理的ということになる。**

---

* 魚は蛋白食糧として，人間の生命維持に必要かくべからざるものであると同時に，我々の食欲をみたし，生活をたのしむための材料，或は経済的行為としての企業の対象という性格をももつている。日本では前者の要素が強いが，欧米諸国では，後者の要素も強い。だから，BURKENROAD (1953) のいうような，食物嗜好に由来する乱獲というようなこともおこり得る。

** ODUM (1953) は“人口の多い東洋の国々の多くの人は，一部には疑いもなく習慣によるが，しかし，主な理由は必要性のために，肉よりもむしろカロリを食つている”。とのべている。人間の社会に，いきなり動物生態学の原理を適用しようというセンスを疑わざるを得ないが，しかし彼がつづいて述べている“食物連鎖が短かければ短かいほど，ある定つた面積の地域にすみ得る人の数は多くなる”という言葉のうちの，“人”を“動物”といいかえた時，この事の裏にある原理は正しい。

b) もし，食害以外の病気等の影響が自然死亡の大きな原因である場合には，資源変動の主因は加入量の多寡にあると思われる。ある魚食性魚類が今まで主な食餌としていた特定の魚種が，著しく数量を減じてしまつたとしても，海洋中で，その魚食性魚類の個体群が，食餌不足で減少してしまうというようなことは考えにくい。とすると，魚食性魚類の変動は，自動的 (self-motive) であると考える方がよいように思われる。

一方 prey の方は，predator の量の如何によつて，その資源の大きさを他動的に変化させられることもあり得る。その場合，変動の主因は，自然死亡の変化ということになる。先に 3.4 (60 ページ) で，自然死亡の変化によつて，資源が変動したという事実を知らないと述べたが，たとえばマイワシの当才魚に対する食害が大きく変化したとしても，これを年令組成の上から察知することは，非常に困難である。田内 (1942a) によると，1938 年当時のマイワシの年令組成は，現在ほど当才魚に強くかたよつてはいなかつたようであるが，これが，最近当才魚の死亡率が著しく増大し，そのために資源が昔の level に回復しないのだという仮説の一つの証明であるといつても，むげに否定はできない。

c) 魚は一般に，小さいほど強く食害の作用をうけると考えられるが (林，1956；横田・三田，1958) そうすると，加入量の変動の上に食害が大きく影響しているということは，あり得ることである。たとえば，プランクトン的魚の卵や稚仔は，附近にい合せた無数の plankton feeder のよい餌となるであろう。魚食性魚類の数は少ないが，plankton feeder は食性段階が低いので，その数は著しく多いことを注意すべきである。

3.5.1 一つのモデル的例*

次のようなモデル的状況を仮定する。サバ (第一の魚種) がマイワシ (第二の魚種) を食べるものとする。マイワシの食害による死亡係数 M_p は，サバの資源量に比例する。両魚種とも成長，加入量及び食害以外の自然死亡は変化しない。両魚種とも漁獲対象になつており，単位努力当 (単位漁獲係数当) の経費は，両者で等しいものとする。両魚種は完全に分離して漁獲し得る。

両種について，パラメタを Table 3.6 のように仮定する。以上の仮定にもとづいて，F_1 (サバ)，F_2 (マ

第 3.6 表　Prey-predator 関係の計算に用いたデータ

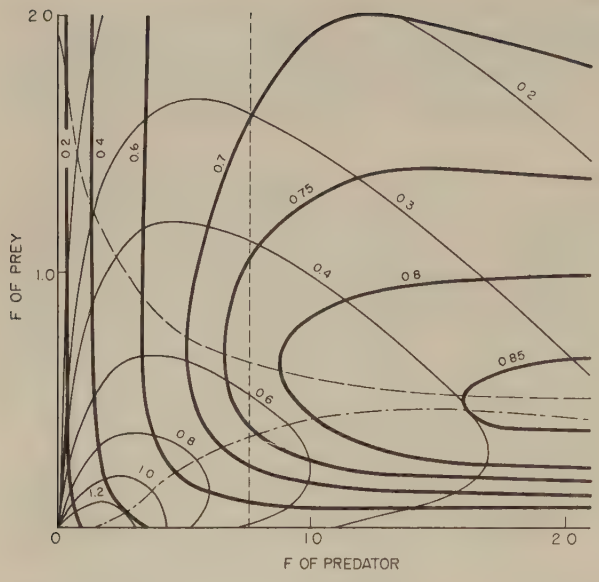
Table 3.6.　Data for calculation of prey-predator relation.

種別 Species	R	w_∞	K	$x_c \sim x_d$	M	M_P
Predator (サバ)	1	10	0.6	2.0 ~ 5.0	0.18	0
Prey (マイワシ)	20	1	0.8	0.5 ~ 7.0	0.2	$0.5(P/w_\infty R)_1$

$(P/w_\infty R)_1$ は predator の相対資源量。
$(P/w_\infty R)_1$ is relative biomass of predator.

イワシ) に対して，漁獲量 $(Y_1+Y_2)/w_{\infty 1}R_1$ (太線) 及び努力当漁獲量 $\dfrac{Y_1+Y_2}{F_1+F_2}\Big/ w_{\infty 1}R_1$ (細線) の等量線を画くと，Fig. 3.36 のようになる。一般的にいつて，サバ (predator) の漁獲を強め，マイワシ (prey) の漁獲をある値におさえると，漁獲量が高くなる傾向にある。サバだけを漁獲する場合，最大の漁獲を与える点は，図中に点線で与えてある。サバに対する漁獲をこの線よりさらに強め，マイワシに対する食害をへらしてやることによつて，マイワシを含めた全体の catch をより大きくすることができる。サバに対する

* この例はあくまでモデルとしてのものであつて，実際の prey-predator 関係を示しているものではない。魚種名については，サバというかわりに predator 或は第一の魚種とよび，マイワシのかわりに，prey 或は第二の魚種とよんでもさしつかえない。しかし，成長曲線等に実際のデータを用いたので，話をわかりやすくするため，サバ，マイワシと呼んだ。



第 3.36 図 サバとマイワシの漁獲係数に対して示した等漁獲量曲線。太線：等漁獲量曲線，細線：等努力当漁獲量曲線，点線：サバの漁獲の最大の点，破線：マイワシ漁獲の最大の点，鎖線：最も効率のよい漁業の組合せ

Fig. 3.36 Isopleth diagram illustrated against F of predator and prey. Bold lines: for total catch. Thin lines: for catch per unit effort. Dotted line: maximum catch of predator. Broken line: maximum catch of prey. Chain line: most efficient fisheries.

いろいろな漁獲の水準に対して，マイワシの漁獲量を最大にする点を結ぶと，破線のようになる。サバに対する漁獲が弱い時には，マイワシの自然死亡が著しく高くなり，全体の漁獲も著しく低い。サバに対する漁獲が強化されるにつれて，マイワシの漁獲量を最大にする漁獲の強さは低くなる。図中の鎖線は，一定の努力当漁獲量で最大の総漁獲量を与える点をむすんだものである。つまり，最も効率の高い漁業の組合せといえる。これでみると，サバ漁業はむしろ乱獲状態にしておいて，そこでの欠損をマイワシでうめあわせるということによつて，かえつて効率を高め得ることがわかる。

以上の例は，現実とは無関係な，単なるモデル的例にすぎない。したがつて，現実のサバ漁業やマイワシ漁業とは関係のないものである。しかし，prey-predator の関係のある時の資源の管理の仕方に対する問題を明らかに示している。つまり predator を，その資源だけで考えて保護すると，かえつて全体としての生産性を落すことがあり得る。Predator を乱獲することが，かえつて望ましい場合もあるわけである。このことからいつて，特定の1魚種だけをあげて，漁獲の強さと漁獲量の関係を論じても，その意義は小さいかもしれない。現在，まだ prey-predator の関係についての定量的研究が充分進んでいないので，ここにあげたモデル的例以上の現実的数値例を与えることはできないが，群衆の研究の重要さは，充分うかがうことができる。

3.6 漁業の変化にともなう漁獲量の変化率

資源を管理するという立場から考えるに，我々はいきなり完全な状態に到達することを望むより，現状を少しでも改善し，一歩でも理想に近づくよう努力するのが正しい道であろう。実際に，どのように精密な調査や研究が行なわれたとしても，資源の状態を完全に把握し，理想状態を決定するということは不可能である。だから，現在の知識から考えて，多少ともよくなると思われる方向に少しづつ漁業を変化させ，その効果をたしかめつつ，次々と理想に近づくという事以外に，我々は資源を合理的に管理する方法をもたないということができる。

このように考えると，我々の知るべきことは，ある漁業の状態（現在の状態と著しく異なつた）に対応する漁獲量を正確に予想することではなくて，現状の近傍での，漁業の変化（即ち諸パラメタの変化）にともなう漁獲量の変化率を，なるべく正しく，少なくとも正負をあやまらない程度に知ることである。Beverton and Holt (1957) は，isopleth diagram によつて，資源管理についての判断をする方法を示している。しかし，この diagram は，全体として意味をもつているというよりは，現状附近における等量線の性質

(方向，密度等) を示すものとして重要である。なぜならば，漁業を著しく変化させ，それに応じて資源の量的，質的性質が大きく変化した時，海全体の中での生産機構が現状のままであるとはとうてい考えられないので，たとえいかに現在の状態が精密にわかつていたとしても，これをすべての漁業の状態に適用できないからである。

この立場からいうと，我々の直接知りたいことは，漁業の状態と漁獲量の関係よりは，漁業の変化と，それによる漁獲量の変化の関係，いいかえるならば，漁獲量の微係数 (dY/dF, dY/dx_c) である。これ等の微係数は，第2章で述べた基本的モデルにしたがつて求めれば，一応充分であると思われるが，微係数の推定値をできるだけ正確にするために，成長，自然死亡，加入量等の変化の影響も可能なかぎり考慮することが望ましい。基本的モデルの場合については，すでにパラメタと漁獲量の関係をいくつか求めて来たので，ここでは，成長や加入量の変化が，どのように作用するかを簡単に考えてみよう。

3.6.1 $\frac{dY}{dF}$ について

漁獲量は

$$Y=FP \tag{36.1}$$

とあらわされるので，

$$\frac{dY}{dF}=P+F\frac{dP}{dF} \tag{36.2}$$

となる。ところで (25.32) 式及び (25.46) 式から，

$$P=w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot\frac{1}{Z}D(\xi_c,\xi_d;\ Z') \tag{36.3}$$

とあらわされるが，今簡単のために，

$$\rho=w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)} \tag{36.4}$$

とおいて，

$$P=\rho\cdot\frac{D}{Z} \tag{36.5}$$

とあらわすと，ρ が一定の場合には，

$$\frac{dP}{dF}=\rho\left(\frac{1}{Z}\frac{dD}{dF}-\frac{D}{Z^2}\right) \tag{36.6}$$

となる。又 ρ が P の函数ならば，

$$\frac{dP}{dF}=\frac{d\rho}{dP}\frac{dP}{dF}\cdot\frac{D}{Z}+\rho\left(\frac{1}{Z}\frac{dD}{dF}-\frac{D}{Z^2}\right)$$

したがつて，

$$\frac{dP}{dF}=\frac{\rho\left(\frac{1}{Z}\frac{dP}{dF}-\frac{D}{Z^2}\right)}{1-\frac{d\rho}{dP}\cdot\frac{D}{Z}} \tag{36.7}$$

となる。

今 ρ のうち，w_∞ と R のみが P の函数だとし，現在点附近において，

$$\left.\begin{aligned}w_\infty&=a_1+b_1P\\R&=a_2+b_2P\end{aligned}\right\} \tag{36.8}$$

の関係がなり立つものとすると，

$$\begin{aligned}\frac{d\rho}{dP}&=e^{-M(x_c-x_r)}\left(\frac{dw_\infty}{dP}R+w_\infty\frac{dR}{dP}\right)\\&=e^{-M(x_c-x_r)}(b_1R+b_2w_\infty)\\&=\rho\left(\frac{b_1}{w_\infty}+\frac{b_2}{R}\right)\end{aligned} \tag{36.9}$$

となる。これを (36.7) 式に代入すると,

$$\frac{dP}{dF}=\frac{\rho\left(\frac{1}{Z}\frac{dD}{dF}-\frac{D}{Z^2}\right)}{1-\left(\frac{b_1}{w_\infty}+\frac{b_2}{R}\right)\rho\frac{D}{Z}}=\frac{\rho\left(\frac{1}{Z}\frac{dD}{dF}-\frac{D}{Z^2}\right)}{1-\left(\frac{b_1}{w_\infty}+\frac{b_2}{R}\right)\cdot P} \tag{36.10}$$

或は (36.8) の関係によつて,

$$\frac{dP}{dF}=\frac{\rho\left(\frac{1}{Z}\frac{dD}{dF}-\frac{D}{Z^2}\right)}{\frac{a_1}{w_\infty}+\frac{a_2}{R}-1} \tag{36.11}$$

ともかける。さらにこれを (36.2) に代入すると,

$$\frac{dY}{dF}=P+F\frac{\rho\left(\frac{1}{Z}\frac{dD}{dF}-\frac{D}{Z^2}\right)}{1-\left(\frac{b_1}{w_\infty}+\frac{b_2}{R}\right)P} \tag{36.12}$$

となる。ここで $b_1=b_2=0$ とおいた場合が ρ が一定の場合であるから,ρ の変化の影響は,$\left(\frac{b_1}{w_\infty}+\frac{b_2}{R}\right)P$, 或は $\left(2-\frac{a_1}{w_\infty}-\frac{a_2}{R}\right)$ の1に対する比率によつてきまることになる。もし,b_1 と b_2 の符号が逆であると,二つの変化の方向が逆となつて,おたがいに打消し合うように働く。(36.12) 式をかきなおすと,

$$\frac{dY}{dF}=\left\{P+F\rho\left(\frac{1}{Z}\frac{dD}{dF}-\frac{D}{Z^2}\right)\right\}+F\rho\left(\frac{1}{Z}\frac{dD}{dF}-\frac{D}{Z^2}\right)\frac{\left(\frac{b_1}{w_\infty}+\frac{b_2}{R}\right)P}{1-\left(\frac{b_1}{w_\infty}+\frac{b_2}{R}\right)P} \tag{36.13}$$

となるが,このうち { } の中は ρ が一定の場合の式に等しい。したがつて,ρ が変化する時は,第3項の分だけ補正が必要ということになる。もし何等かの方法によつて,w_∞ や R の変化が予想されるならば,この式によつて,より正しい dY/dF を推定することができよう。ところで $dD/dF<0$ であるために,$\left(\frac{1}{Z}\frac{dD}{dF}-\frac{D}{Z^2}\right)$ は常に負であるから,この補正項の正負は,$(b_1/w_\infty+b_2/R)$ の負正によつてきまる。

3.6.2 $\frac{dY}{dx_c}$ について

(36.1) 式を x_c で微分すると,

$$\frac{dY}{dx_c}=F\frac{dP}{dx_c}=F\frac{dP}{d\xi_c}\frac{d\xi_c}{dx_c}=KF\cdot\frac{dP}{d\xi_c} \tag{36.14}$$

となる。ところで,

$$\begin{aligned}P&=w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot\frac{1}{K}e^{-Z'\xi_c}\int_{\xi_c}^{\xi_d}(1-e^{-3})^3e^{-Z'\xi}d\xi\\&=w_\infty Re^{-M'\xi_r}\frac{e^{F'\xi_c}}{K}\int_{\xi_c}^{\xi_d}(1-e^{-3})^3e^{-Z'\xi}d\xi\end{aligned} \tag{36.15}$$

は,年令 x_c から x_d までの資源の生体量である。今 w_∞ や R が個体群の大きさによつて変化すると考える時,その個体群の大きさとして,$x_c\sim x_d$ の魚のみを考えるのは不適当である。P_0 を x_r から x_d までの生体量とする時,w_∞ や R を P_0 の函数と考える方がより適当であろう。

$$P_0=w_\infty R\frac{e^{M'\xi_r}}{K}\int_{\xi_r}^{\xi_c}(1-e^{-3})^3e^{-M'\xi}d\xi+P \tag{36.16}$$

である。w_∞, R を (36.8) 式と同様,

$$\left.\begin{aligned}w_\infty&=a_1+b_1P_0\\R&=a_2+b_2P_0\end{aligned}\right\} \tag{36.17}$$

とおくと,

$$\frac{dP}{d\xi_c}=w_\infty Re^{M'\xi_r}\left\{\frac{F'}{K}e^{F'\xi_c}\int_{\xi_c}^{\xi_d}(1-e^{-\xi})^3e^{-Z'\xi}d\xi\right.$$

$$-\frac{e^{F'\xi_c}}{K}(1-e^{-\xi_c})^3e^{-Z'\xi_c}\Big\}+\Big\{\frac{dw_\infty}{dP_0}\frac{dP_0}{d\xi_c}R+w_\infty\frac{dR}{dP_0}\frac{dP_0}{d\xi_c}\Big\}$$

$$\times e^{M'\xi_r}\frac{e^{F'\xi_c}}{K}\int_{\xi_c}^{\xi_d}(1-e^{-\xi})^3e^{-Z'\xi}d\xi$$

$$=\Big(F'P-\frac{A}{K}\Big)+\Big(\frac{b_1}{w_\infty}+\frac{b_2}{R}\Big)\frac{dP_c}{d\xi_c}P \tag{36.18}$$

ところで，(36.16) 式より，

$$\frac{dP_0}{d\xi_c}=\Big(\frac{b_1}{w_\infty}+\frac{b_2}{R}\Big)w_\infty Re^{M'\xi_r}\int_{\xi_r}^{\xi_c}(1-e^{-\xi})^3e^{-M'\xi}d\xi\times\frac{dP_c}{d\xi_c}$$

$$+w_\infty R\frac{e^{-M'\xi_r}}{K}(1-e^{-\xi_c})e^{-M'\xi_c}+\frac{dP}{d\xi_c}$$

$$=F'P+\Big(\frac{b_1}{w_\infty}+\frac{b_2}{R}\Big)P_0\frac{dP_0}{d\xi_c} \tag{36.19}$$

故に

$$\frac{dP_0}{d\xi_c}=\frac{F'P}{1-\Big(\frac{b_1}{w_\infty}+\frac{b_2}{R}\Big)P_0} \tag{36.20}$$

これを (36.18) 式に代入して，

$$\frac{dP}{d\xi_c}=F'P-\frac{A}{K}+\Big(\frac{b_1}{w_\infty}+\frac{b_2}{R}\Big)\frac{F'P^2}{1-\Big(\frac{b_1}{w_\infty}+\frac{b_2}{R}\Big)P_0} \tag{36.21}$$

したがつて (36.14) 式は，

$$\frac{dY}{dx_c}=F(Y-A)+Y^2\frac{\frac{b_1}{w_\infty}+\frac{b_2}{R}}{1-\Big(\frac{b_1}{w_\infty}+\frac{b_2}{R}\Big)P_0} \tag{36.22}$$

となる。ここで第1項が w_∞, R が不変の場合の値であり，第2項が w_∞, R が P_0 の函数として変化する時の補正項である。

3.6.3 Isopleth diagram における等量線の方向

今 Y を x_c, F の函数と考え，Y がある一定値をとる点をむすぶと，ある (F, x_c) 平面での曲線が得られる。Y の値をいくつかとると，これ等は曲線群を与える。Beverton and Holt (1957) は，このような図を isopleth diagram とよんでいる。所で，この等量線について考えると，その傾斜は dx_c/dF であるが，

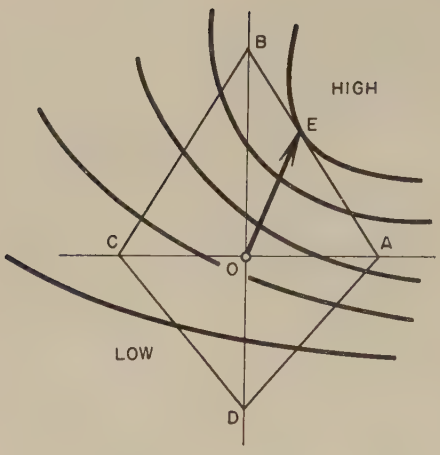
$$Y=Y(F, x_c)=\text{const.} \tag{36.23}$$

とおいて，

$$\frac{dx_c}{dF}=-\frac{\frac{\partial Y}{\partial F}}{\frac{\partial Y}{\partial x_c}} \tag{36.24}$$

である。3.6.1, 3.6.2 で求めた式をこれに代入すると，dx_c/dF が求められる。もし $\partial Y/\partial F$, $\partial Y/\partial x_c$ ともに正であれば，等量線は左上から右下にならび，右上が漁獲量のより高い部分となる。ともに負であれば，方向は同じだが，左下の方がより高い部分となる。$\partial Y/\partial F>0$, $\partial Y/\partial x_c<0$ ならば，等量線は左下から右上にむかつて走り，右下が漁獲量のより高い部分となり，$\partial Y/\partial F<0$, $\partial Y/\partial x_c>0$ ならば，方向は同じで，左上の方が高い部分となる。

現在の点を通る等量線を考え，この線の一方の側に点を移動させると，この側が漁獲量の高い方の側であれば，必ず漁獲量が増加することが期待される。そして，最も漁獲量の変化の急な方向は，等量線に直角の方向である。



第 3.37 図 与えられた漁業転換費の範囲内で最大の漁獲増の得られる漁業変化の方向(矢印)。O は現在点，曲線は等漁獲量曲線，4 辺形は経費の一定となる限界

Fig. 3.37 Direction of change of fisheries, in which maximum increase of catch will be obtained at a given amount of cost. O: present point. Curves: contour line of catch. Quadrilateral: limit of given cost.

ところで，実際に漁業を変化させる場合を考えると，必ずしも等量線に直角の方向が最も効率がよいとは限らない。それは，漁業の変化のさせ方の難易が，方向によつて異なるからである。網目を大きくしたり，小さくしたりして x_c を変化させようとすれば，新らしい網を用意しなければならない。努力量を増加させるには，それだけ余分な投資を要し，又努力量の一部を切すてるためには，むずかしい補償問題が起るかもしれない。ある方向への変化は比較的容易だけれども，他の方向への変化は，実際的には不可能だということもあろう。漁業を変化させるには，これ等の困難さと，漁獲量の増加の程度とを同時に考慮した上で決めなければならない。

今漁業を変化させることの困難さを，それに要する漁業転換費であらわし，F を単位だけ増加させるのに c_1，逆に減少させるのに c_3，x_2 を単位だけ増加させるのに c_2，減少させるのに c_4 の費用を要するものとする。今与えられた費用の限界を c とすると，総費用が c となる点は，Fig. 3.37 のような四辺形であらわされる。この四辺形は，現在の点 O を中心として，それぞれ c/c_1，c/c_2，c/c_3，c/c_4 の距離に A, B, C, D の各点をとり，この 4 点を結んだものである。今この四辺形上の点で最も漁獲量の高くなる点に漁業を変化させたとすると，一定の費用で最大の漁獲量増加が得られる。Fig. 3.37 で等漁獲量曲線が，図中の細線のようであれば，O から E に変化させるのが最も望ましい。一般的には，この四辺形はより複雑なある閉曲線となるであろうが，おそらくその形を求めることは，さして困難ではなかろう。この閉曲線の形と，等漁獲量曲線が与えられれば，問題は同様にして解くことができる。

第 4 章　データの収集と解析，資源量の推定

4.1　漁業に関する調査への標本調査法の導入

漁業の調査に標本調査の理論が導入されたのは，戦後であつて，それほど古い話ではない。最初に行なわれた標本調査は，おそらく当時の農林省水産試験場による 1947～48 年の中流河川漁業実態統計調査（中野・栗田・畑，1949）であろう。ここでは，漁業の実態について面接する対象が，乱数表を用いて random sampling された。この調査は，漁獲量その他の実態を知る目的でなされたもので，生物学的調査ではない。漁獲量推定を目的とした調査としては，1949 年に福岡県で行なわれた，漁獲高推計標本調査（北川・山本・他，1950a，b），イワシ資源統計標本調査（栗田・その他，1956）等がある。漁獲量の調査は，1951 年 4 月以来農林省統計調査部の手によつて，全国的な規模で，標本調査理論を大巾にとり入れた方法によつて，実施されている。

生物学的調査に標本調査理論が導入された最初は，以西底曳網漁業の調査であつて，下関，福岡，長崎の 3 根拠地で，体長組成推定のための標本抽出を，入港船―トロ箱―魚体の三段階とし，各段での抽出を完全な系統抽出とした，本格的標本調査方法が採用された（西海区水研，1951a）。この調査は，1950 年 9 月から，1952 年 12 月まで続けられたが，非常に多くの労力を要するために，その後の諸種の都合もあつて打切られ，銘柄組成調査に切かえられ，現在に到つている。これとほとんど同様の原理にもとづいた標本調査は，1951年 1 月から，北海道，東北太平洋側，日本海側を中心に，以東底魚資源調査にも導入された（水産研究会，1951）。

以西，以東の底魚の調査は，調査の開始される段階から標本調査法が導入されたが，これより以前にすでに始められていたイワシ類の資源調査では，この点が必ずしも充分ではなかつた。しかし，各種の調査に標本調査理論が応用されていくにつれて，イワシ類の調査におけるこの種の問題に対しても，いろいろな面から批判が行なわれ，この調査にも，1951年 4 月から，全国的に標本理論が導入されるようになつた。（東海区水研，1953 参照）。

イワシ，以東底魚の調査でとられた方法は，本質的には以西底魚と大差はないが，一部漁業の状況にしたがつて変つている点もある。ここでイワシの場合を例として，現在用いられている方法の概要を示そう。

a）　全国津々浦々に散在するイワシ漁業の水揚地のうち，漁獲量の点，調査実施の難易，漁獲物全体に対する代表性等の観点から考えて，適当と思われる地点を 1 県から 1 乃至数地点選び，その漁港における漁獲物の組成を調べる。

b）　調査する日を，系統抽出その他の方法によつて決定し，当日は水揚地におもむいて調査を実施する。

c）　調査当日入港した船の中から，系統抽出その他の方法によつて，標本船を 1 乃至数隻選び，各標本船から適当な方法によつて，50～100 尾の魚体を抽出する。

d）　各標本ごとに体長その他必要項目について計測する。標本ごとの体長組成は，各段階での抽出率で割つて引延し，調査地における月別の体長組成，平均体重を推定する。

e）　県別，月別，漁業種別の魚種別漁獲量統計から，平均体重によつて漁獲尾数を求め，さらに体長組成によつて，これを体長別漁獲尾数にふりわける。この結果は，必要に応じて，地域ごと，或は全国計の形にまとめられる。

f）　結果は，各年の鰯資源協同研究経過報告（1951～1955），その他の資料として発表されている。

4.2　体長組成の推定

4.2.1　イワシ類調査での実例

体長組成は，漁獲量，漁獲努力量と並んで，最も基本的なデータの一つである。体長組成は，そのもの自身の重要さと同時に，他の生物学的データ（年令，肥満度等）と組合せて考察する上に，なくてはならない資料である。ここでは，イワシ資源調査での実際のデータを例として，基本的方法について説明しよう。

東海区水産研究所でのイワシの魚体調査は，県水産試験場に委託して行なわれている。県からは，漁獲年

第 4.1 表 体長組成推定の計算例

Table 4.1. Example of calculation form for estimating length composition of fish in catch.

標本船番号 Ser. No. of boat	1	2	3	4	5 月計 Total	5	6	7	6 月計 Total
年月日 Date	31.5.5	31.5.16	31.5.21	31.5.26		31.6.9	31.6.15	31.6.23	
船の抽出比 Sampling ratio of boat	1/5	1/6	1/6	1/6		1/3	1/6	1/3	
標本船漁獲量 Catch of sample boat	70貫	25貫	50貫	74.25貫	総漁獲量 1,245.5貫	3.4貫	5.6貫	5.9貫	総漁獲量 61.5貫
標本魚体重量 Total weight of sample	1.098匁	0.911匁	1.882匁	1.853匁	総尾数 52,998×10³尾	1.530匁	1.415匁	1.343匁	総尾数 2,616×10³尾
引延し計数 Multiplier	318.8×10³	164.7×10³	159.4×10³	240.4×10³	平均体重 0.0235匁	6.7×10³	23.7×10³	13.2×10³	平均体重 0.02351匁

mm	10³	10³	10³	10³	10³	%	10³	10³	10³	10³	10³	%
23 — 25	3 2,550.4	11 1,811.7		2 480.8	4,342.9	9.14		8 189.6	1 13.2	202.8	7.75
25 — 27	12 3,825.6	21 3,458.7	3 478.2	2 480.8	8,243.3	15.55	7 46.9	3 71.1	5 66.0	184.0	7.03
27 — 29	25 7,970.0	12 1,976.4	19 3,028.6	4 961.6	13,936.6	26.30	11 73.7	13 308.1	14 184.8	566.6	21.66
29 — 31	3 956.4	10 1,647.0	8 1,275.2	8 1,923.2	5,801.8	10.95	11 73.7	10 237.0	23 303.6	614.3	23.48
31 — 33	5 1,594.0	5 823.5	10 1,594.0	17 4,086.8	3,098.3	15.28	16 107.2	13 308.1	8 105.6	520.9	19.91
33 — 35	4 1,275.2	1 164.7	5 797.0	15 3,606.0	5,842.9	11.02	9 60.3	7 165.9	6 79.2	305.4	11.67
35 — 37	2 637.6		6 956.4	3 1,923.2	3,517.2	6.64	5 33.5	6 142.2	3 39.6	215.3	8.23
37 — 39	1 318.8		2 318.8	4 961.6	1,599.2	3.02	1 6.7			6.7	0.26
39 — 41			1 159.4		159.4	0.30					
41 — 43			5 797.0		797.0	1.50					
43 — 45			1 159.4		159.4	0.30					
45 — 47											
計 Total	60 19,128	60 9,882	60 9,564	60 14,424	52,998	100.00	60 402	60 1,422	60 792	2,616	99.99

月日，漁場，天候，漁獲量等の附帯事項とともに，標本体長組成をカードに記入して，水産研究所あて送られてくる。(東海区水研，1953 参照)。水産研究所では，Table 4.1 に示したような方法によつて，全体としての体長組成を計算する。Table 4.1 中で標本船番号は，1月から12月まで一連番号を付し，整理に便なようにしたもので，年月日は漁獲年月日である。船の抽出比は（当日の入港船）分の（当日の標本船）をあらわし，標本船漁獲量は，目的魚種について，各標本船からききとつた値である。標本魚体重量は体長を測定した魚体全部の目方である。引延し係数は以上のデータから計算されるが，この係数を標本体長組成にかけて，全体の推定を行なう。引延し係数は，

$$\frac{\text{標本船漁獲量}}{\text{標本魚体重量}} \times \frac{\text{当日総入港船数}}{\text{当日標本船数}}$$

として計算される。引延し係数をかけて推定した値を，各標本日について加え合せ，さらに百分率組成に換算する。平均体重は船の抽出比，標本船漁獲量及び標本船漁獲尾数から計算される。このようにして，ある県のある月のある漁業について，ある魚種の平均体重と体長組成（%）が求められることになる。統計調査部で調べた漁獲量のうち，この体長組成が代表し得ると思われるものに，以上のデータを適用して，漁獲量を体長別漁獲尾数に換算する。

東海地区，東北太平洋側の各県について計算された結果は，カタクチイワシ及びマイワシの体長組成として，毎年謄写印刷されて発表されている。

4.2.2 体長組成の精度

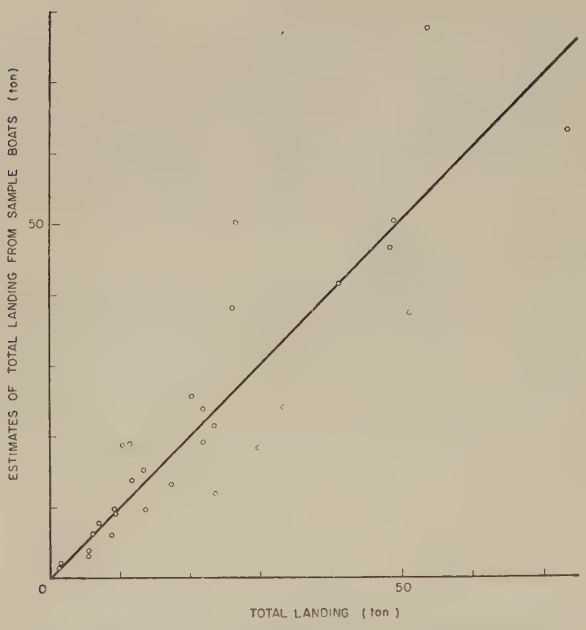
完全に標本抽出の理論にしたがつて計算された体長組成ならば，その推定誤差（推定値の分散）を計算することができる。しかし，実際の調査では，標本抽出が必ずしも random でないため，厳密な意味で誤差を見積ることはできない。又，多段抽出の場合には，誤差の計算がかなり複雑で，相当の計算量となるため，定型的作業としては実施されていない。

一部について試験的に計算された例がいくつかある。土井等 (1951) は，キダイ（レンコダイ），クログチについて，推定値の分散を求めているが，その誤差はかなり高い。主要体長の附近でも，変動係数が 50% に達している。その誤差の大部分が船間変動によつてもたらされたものである。船内変動にくらべて，船間変動が著しく高いということは，各漁業種を通じて，ほとんど共通の性質であり，イギリスの底曳漁業でも，このことの著しいことを Gulland (1955) が述べている。船間変動を小さくするには標本船の数を増せばよい。しかし，作業を行なうにあたつて，1隻の船から多数の魚体を抽出して測定することには，それほど労力を要しないが，標本船の隻数を増すことは，かなりくるしい問題である。推定精度を向上させる上に，この点が最も重要な問題となつている。

山中 (1954a) は，この誤差をのぞくために，比推定の方法の応用を考えている。船間変動というのは，船間で組成が大きく変化するというよりは，組成を一定に保つたまま，漁獲総尾数が船間で大きくふれることによつて引起される傾向がある。このことは，ある船の総漁獲尾数と，特定の体長階級の漁獲尾数の間で，相関の著しく高いことによつて示される。山中は，新潟に水揚されたマイワシ，浜田のムシガレイ，新潟のソウハチガレイについて，主要な体長群について，少なくとも 0.7，多くは 0.8～0.9 以上という相関係数を与えている。さらに Yamanaka (1955) は，このことの生態学的意味について論じた中で，他の多くの大羽マイワシの例で，少なくとも主要体長群では 0.6 を下らない事，0.9～1.0 という高い値を示す場合の多い事を示している。田中 (1952) は銚子のカタクチイワシについて，同様に 0.8 以上の高い値を示している。

この相関の高いことから，土井等の求めたキダイ，クログチの場合でも，変動の大部分は，相対的な組成（% 組成）を保つたまま，全体として（つまり小さい魚も大きい魚もそろつて）上下に変動することによる部分であろうと推定される。したがつて，目的が絶対的尾数ではなく，相対的組成であるならば，キダイの例でも変動係数が 50% におよぶというような事はなく，はるかに小さい値となつており，目で見た体長分布の形そのものは，かなり精度の高いものとなつていよう。山中 (1954a) や田中 (1952) の例では，誤差は少なくとも 1/3 となるとみられる。

相関係数の高いことを利用したもう一つの方法は，総漁獲量のセンサスによる比推定の方法である。総漁



第 4.1 図 舞阪のシラス舟曳網での当日の総水揚量と，5隻の標本船からの同推定値。(1958年の分)

Fig. 4.1. Error of estimates from five sample boats of total landing on the day at Maisaka, Shizuoka Prefecture. (Data from boat seine for anchovy larva).

獲量は，しばしば市場の伝票，漁獲総計等によつて，ほとんど労せずして得られるので，この総漁獲量を，少数の標本から推定した平均体重，%組成によつて，体長階級別の尾数にふりわけるという方法をとれば，推定体長組成（絶対的な尾数組成）の推定精度を著しく向上させることができる。田中 (1952) のデータによれば，鉢子のカタクチイワシについて，1/2～1/3 に分散をへらすことが可能とみられる。

イワシ類の体長組成推定にあたつて (4.2.1)，港別の組成を全県に引延すのに，漁獲統計を利用している。この考えは，上に述べた理由によつてその正当性が示される。イギリスでは，底曳漁業について，港別の組成を推定する際にも，この方式を用いている (Gulland, 1955)。Table 4.1 では，船の抽出比によつて引延しているが，もし当日のその港における総漁獲量がわかつておれば，これと標本船の漁獲量の比を用いる方がよい。Fig. 4.1 に，舞坂での調査日の実際の漁獲量と，5隻の標本船の値を船の抽出比で割つて推定した漁獲量を対比して示した。1日5隻という数は最も多い場合であるが，それでもこの段階でかなりの誤差がはいることがわかる。

4.2.3 測定誤差の問題

観測値の精度を問題にする場合，4.2.2 で述べたような標本誤差の立場からの検討は勿論必要であるが，測定誤差についても一応考慮しておく必要があろう。一般に体長測定の誤差はさほど大きくないと思われるが，ここでは測定誤差の問題の一つの典型として，体長組成への影響を考えてみることにする (田中, 1954a)。

確率密度 $f(l)$ をもつて分布する変量 l を測定して，$l'=l+\delta$ なる値を得たとすると，l' の分布は，

$$F(l')=\int_D f(l)\,\psi(\delta\,|\,l)\,dl \qquad (42.1)$$

によつて与えられる。ここで $\psi(\delta|l)$ は，母数が l である場合の誤差 δ の確率密度で，D は l の全変域をあらわしている。ψ の型として

$$\psi(\delta\,|\,l)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma_E(l)}e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma_E{}^2(l)}} \qquad (42.2)$$

を仮定する。一般には，誤差の分散 $\sigma_E{}^2$ は l の函数と考えられるが，まず最初は，l によらず一定とおいてみよう。

例 1. $f(l)$ が正規分布の場合

l, δ がともに正規分布をする場合には，$l'=l+\delta$ も又正規分布をし，l の平均を μ，分散を σ^2 とすると，l' の平均は μ，分散は $\sigma^2+\sigma_E{}^2$ となる。一般には $\sigma_E{}^2\ll\sigma^2$ であろうから問題とならない。たとえば，体長範囲のせまいカタクチイワシの場合でも，$\sigma=2.5$ mm とし，測定誤差をだいたい ±1 mm の範囲内として

$\sigma_E=0.5$ mm とおくと，分散の増加は 0.25/5.25=4%，標準偏差にすれば 2% の増加にすぎない。

例 2. $f(l)$ が指数分布の場合

lが l_0 から $+\infty$ までの間で指数分布をしている時には，

$$f(l)=\alpha e^{-\alpha(l-l_0)} \tag{42.3}$$

とおいて

$$F(l')=\frac{\alpha}{\sqrt{2\pi}\,\sigma_E}\int_{l_0}^{\infty} e^{-\frac{(l'-l)^2}{2\sigma_E{}^2}}\cdot e^{-\alpha(l-l_0)}dl$$

$$=e^{\frac{\alpha^2\sigma_E{}^2}{2}}\cdot\alpha e^{-\alpha(l'-l_0)}\left[\frac{1}{2}-\psi\left(\frac{l'-l_0}{\sigma_E}+\alpha\sigma_E\right)\right] \tag{42.4}$$

但し，

$$\frac{1}{2}-\varphi(y)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_y^{\infty} e^{-\frac{y^2}{2}}dy \tag{42.5}$$

である。上の式で $\alpha e^{-\alpha(l'-l_0)}$ は；$f(l)$ の l を l' で入れかえただけであるから，

$$e^{\frac{\alpha^2\sigma_E{}^2}{2}}\left[\frac{1}{2}-\varphi\left(-\frac{l'-l_0}{\sigma_E}+\alpha\sigma_E\right)\right] \tag{42.6}$$

がくいちがいの程度をあらわしている。$e^{\frac{\alpha^2\sigma_E{}^2}{2}}$ は常数であり，[ ] の内は $\left(-\frac{l'-l_0}{\sigma_E}+\alpha\sigma_E\right)$ が 3 以上になると，ほとんど 1 に近くなる。分布の左側が切断的であつたものが，測定誤差によつてならされて，ちようど資源への加入がある巾をもつている場合の体長組成と同様の形となる (Fig. 2.5 参照)。そして右側の部分での傾斜は，ほとんど誤差の影響をうけないといえる。もし年級変動等のために，右側の直線的減少傾向がでこぼこしている時には，測定誤差によつて，そのでこぼこがならされて，かえつてなめらかな直線的傾向があらわれる (Gulland, 1955)。

例 3. $f(l)$ が矩型分布の場合

a から $a+h$ の間で $f(l)$ が一定で，$1/h$ に等しい時には，

$$F(l')=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma_E h}\int_a^{a+h} e^{-\frac{(l'-l)^2}{2\sigma_E{}^2}}dl \tag{42.7}$$

となる。これは

$$F(l')=\frac{1}{h}\left[\varphi\left(\frac{l'-a}{\sigma_E}\right)-\varphi\left(\frac{l'-a-h}{\sigma_E}\right)\right] \tag{42.8}$$

となる。図示すると Fig. 4.2 の様になる。

l 軸を間隔 h で階級にわけたときに，観測値が階級 $a+ih\sim a+(i+1)h$ に落ちる確率 p_{ih} は上の式を積分して

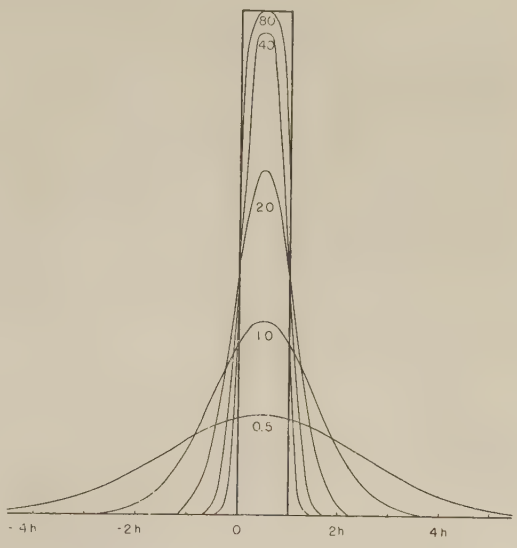
$$p_{ih}=\int_{a+ih}^{a+(i+1)h}\frac{1}{h}\left[\varphi\left(\frac{l'-a}{\sigma_E}\right)-\varphi\left(\frac{l'-a-h}{\sigma_E}\right)\right]dl'$$

$$=\frac{\sigma_E}{h}\int_{\frac{ih}{\sigma_E}}^{\frac{(i+1)h}{\sigma_E}}\varphi(y)\,dy-\frac{\sigma_E}{h}\int_{\frac{(i-1)h}{\sigma_E}}^{\frac{ih}{\sigma_E}}\varphi(y)\,dy \tag{4.29}$$

とあらわすことができる。ここで

$$\int_0^y\varphi(y)\,dy\equiv\Phi(y) \tag{42.10}$$

とおくと，



第 4.2 図　母分布で矩型分布の場合の観測値の分布。図中の数字は h/σ_E の値

Fig. 4.2. Distribution of observed values (thin lines) which are derived from original rectangular distribution (thick line), for various values of h/σ_E (indicated in the figure).

$$p_{ih}=\frac{\sigma_E}{h}\left[\Phi\left(\frac{(i+1)h}{\sigma_E}\right)+\Phi\left(\frac{(i-1)h}{\sigma_E}\right)-2\Phi\left(\frac{ih}{\sigma_E}\right)\right] \qquad (42.11)$$

となる。なお，$\Phi(y)=\Phi(-y)$，$\Phi(0)=0$ である。$a-ih$ から $a+(i+1)h$ までの間に落ちる確率は

$$_{-ih}p_{(i+1)h}=\frac{\sigma_E}{h}2\left[\Phi\left(\frac{(i+1)h}{\sigma_E}\right)-\Phi\left(\frac{ih}{\sigma_E}\right)\right] \qquad (42.12)$$

である。これ等の値を Table 4.2 に示す。

第 4.2 表 母分布が矩形分布の場合の観測値の分布

Table 4.2. Distribution of observed values derived from original rectangular distribution.

h/σ_E	0.5		1.0		2.0		4.0		8.0	
i	p_{ih}	$_{-ih}p_{(i+1)h}$	p_{ih}	$_{-ih}p_{(i+1)h}$	p_{ih}	$_{-ih}p_{(i+1)h}$	p_{ih}	$_{-ih}p_{(i+1)h}$	p_{ih}	$_{-ih}p_{(i+1)h}$
0	0.195	0.195	0.369	0.369	0.610	0.610	0.801	0.801	0.900	0.900
1	.173	.542	.241	.850	.191	.992	.100	1.000	.050	1.000
2	.121	.784	.067	.984	.004	1.000				
3	.066	.917	.008	.999						
4	.029	.974	.000	1.000						
5	.010	.994								
6	.003	.999								
7	.001	1.000								

$f(l)$ が矩型分布の場合は，任意の連続分布をヒストグラムで近似した場合として，より広い応用範囲をもつている。ある区間 $a\sim a+h$ における観測値頻度の期待値 F_a は，同じく母集団の頻度を f_{a+jh} であらわして，

$$F_a=f_a p_a+(f_{a-h}+f_{a+h})p_h+(f_{a-2h}+f_{a+2h})p_{2h}+\cdots\cdots \qquad (42.13)$$

となる。これは，p_{ih} を重みとする一種の移動平均になつている。母集団での頻度分布に大きなでこぼこがない場合には，測定誤差の影響は大きくない。しかし，h/σ_E は少なくとも 2.0 より小さくならない様にした方がよいであろう。

例 4. σ_E が l に比例する場合の吟味

今までは，σ_E が l によらず一定としたが，実際には l に比例する場合が多いであろう。もし h が充分小さく，その間では σ_E が一定とみなされる場合には，矩型分布の例を応用する事ができる。σ_E が一定でない時に，$a\sim a+h$ の間の値を $a+ih\sim a+(i+1)h$ の間にまちがえる確率を $p_{a,\,ih}$ とあらわすと，

$$F_a=f_a p_{a0}+f_{a-h}p_{a-h,\,h}+f_{a+h}p_{a+h,\,h}+f_{a-2h}p_{a-2h,\,2h}+f_{a+2h}p_{a+2h,\,2h} \qquad (42.14)$$

となる。$p_{a+jh,\,jh}$ が $a+jh$ の変化によつてどの様にかわるかは，Table 4.2 でみる事ができる。h が誤差にくらべて大きい時には，近似的に

$$\left.\begin{array}{ll} p_{a+h,\,h}=p_{a,\,h}+\varepsilon_1 & p_{a-h,\,h}=p_{a,\,h}-\varepsilon_1 \\ p_{a+2h,\,2h}=p_{a,\,h}+2\varepsilon_2 & p_{a-2h,\,2h}=p_{a,\,2h}-2\varepsilon_2 \\ \cdots\cdots\cdots\cdots & \cdots\cdots\cdots\cdots \end{array}\right\} \qquad (42.15)$$

とあらわせるであろうから*

$$\begin{aligned} F_a=&p_{a,\,0}f_a+p_{a,\,h}(f_{a+h}+f_{a-h})+p_{a,\,2h}(f_{a+2h}+f_{a-2h})+\cdots\cdots \\ &+\varepsilon_1(f_{a+h}-f_{a-h})+2\varepsilon_2(f_{a+2h}-f_{a-2h})+\cdots\cdots \end{aligned} \qquad (42.16)$$

となる。ここで，第一の部分は，σ_E が一定の場合と同じものであり，第二の部分が σ_E が l と比例的な場合の影響の部分である。ε は一般に正であろうから，$f(l)$ が増加的であれば正の方向，減少的であれば負の方向にかたよることになる。

* Table 4.2 で，$h=1$ とし，σ_E を 1/8, 2/8, 4/8 と変化させると，$p_{a,h}$ が 0.05, 0.10, 0.19 と変化し，σ_E の変化，即ち l の変化と $p_{a,\,ih}$ の変化が比例的であることがわかる。

4.3 年令組成の推定

4.3.1 いろいろな方法

年令組成にかぎらず，一般に組成を求める調査の根本は，標本について，ある形質をそなえているものの割合をしらべ，それから全体を推定することである。年令組成の推定においても，標本中の個体について，何等かの方法により年令査定が行なわれた時には，これを単純に引延ばすことにより，全体の年令組成が推定される。この方法は，体長組成の場合と同様に，漁獲統計をベースとする比推定によつて，その精度を改善することができるであろう。

個々の魚体について，年令査定を行わないで，年令組成を推定する方法も考えられている。この際最も多く利用されるのは体長組成でなる。体長組成がある条件をみたしている時は，かなり正確に年令組成が推定されるであろう。田中 (1956b) は，キダイの体長組成にいくつもの正規分布をあてはめて，これを年令別に分解し，年令組成を推定している。須田 (1954) も同様な考えによつて，ビンナガマグロの体長組成を分析している。これ等の方法については，4.5 でさらにくわしく論ずる。

少数の年令査定の結果を，多数の標本から求めた体長組成と組合せて，手間をはぶき，或は推定精度を高めようという試みも多くなされている。その一つは山中 (1954b) が日本海の大羽マイワシに適用している方法である。少数の年令査定によつて，年令別の体長分布（正規分布を仮定）のパラメタ（正規分布の場合には，平均と分散）を推定して，各年令の体長分布を定め，これをいろいろと重みをつけて加え合せて，全体の体長組成を合成した時に，その体長組成が実際の組成にできるだけ近くなるように，重みづけ（年令組成）を定めるという方法である。最少自乗法によつて解くと，結局年令組成を未知数とする連立方程式が得られる。この方法は，着想としては面白いが，精度及び数値計算の点で問題があるようである。

もう一つの方法は，Tanaka (1953c) がくわしく論じ，山中 (1954b)，Gulland (1955) もとりあげている方法で，体長層別によつて，年令組成を推定する方法，いわゆる age-length key の方法である。この方法は，Fridrikson (1934) によつて，cod の年令組成推定にはじめて応用された。Hodgson (1939) はこの方法を herring の年令組成推定に応用している。現在マイワシの年令組成の推定に利用されている外，世界的にも広く用いられている (Gulland, 1957)。

この方法については，4.3.2 でくわしく論ずるが，概要を示すと次の通りである。まず多数の標本を集めて体長を測定し，体長組成を推定する。次に年令査定用の標本を，体長を測定した標本中から，或は体長標本とは全く独立に抽出し，年令を査定し体長を測定して，各体長階級ごとの年令組成を推定する。この体長階級ごとの年令組成によつて，先に求めた体長組成を各年令にふりわけ，後にこれを年令ごとにまとめあげるものである。この方法では，いわば体長階級を一つの層とみなして，層別推定を行なつたと同様の効果によつて，精度をあげることができる。一般に，体長測定は，年令査定に比較して，著しく手間が少なくてすむので，一定の費用のもとで，よりよい結果を得ることができる。

今 x 才魚の割合を p_x，l 体長級の割合を p_l，l 体長級中での x 才魚の割合を p_{xl} とすると，p_x の推定値 p_x'' は

$$p_x''=\sum_{l=1}^{R} p_l' p_{xl}'' \qquad (43.1)$$

としてあらわされる。(′) は体長標本からの推定値，(″) は年令標本からの推定値を意味し，R は体長級の数である。p_x'' の分散は，体長級の数がある程度大きい時には，体長級間で $(p_l' p_{xl}'')$ がお互に独立だとして，*

$$V(p_x'')=V(\sum_{l=1}^{R} p_l' p_{xl}'')=\sum_{l=1}^{R} V(p_l' p_{xl}'') \qquad (43.2)$$

又 p_l' と p_{xl}' が相互に独立の場合には

* 厳密には，これ等は相互に独立ではない。なぜならば，割合というものは，全部を加え合せると 1 になるという条件があるため，お互に関連をもつていることになるからである。しかし，階級数が多い時には，この関連の程度は充分に小さくなるであろう。

$$V(p_x'')=\sum_{l=1}^{R}\{V(p_l')p_{xl}''^2+p_l'^2V(p_{xl}'')\} \tag{43.3}$$

とすることができる (Gulland, 1955; 山中, 1954b)。

年令査定用の標本抽出について，日本のイワシ調査では，体長標本からの任意抽出によつているが，California の sardine では，各体長級別の完全な層別抽出である (Felin, Daugherty and Pinkas, 1951)。イギリスでの底魚の調査では，年令標本は，体長標本とは独立に集められている (Gulland, 1956b)。しかし，その際，主要体長以外の魚からの標本を，相対的に多くしておくことは，全体的に各年令の組成の精度をよくする効果がある。さもないと，主要年令については，必要以上に精度が高くなり，その他の年令についての精度が，これにくらべて著しくわるくなる (Gulland, 1955, Table 1.10)。Ketchen (1950) は，年令査定の手間をはぶくために，体長を測定した個体のうち，各体長級から一定尾数 (たとえば 5 尾)，全数がこれにみたない時は全部について，年令を査定することが，精度を維持する上で望ましいと述べている。これ等の場合，年令標本が random sample ではなくなるが，各体長級からの抽出が random になつてさえいれば，この点は問題でない。一般に，体長で層別してしまえば，その中からの標本抽出は，かなりよく確率化されると考えられる。*

4.3.2 体長を層別に利用する二重抽出法について**

4.3.2.1 抽出法及び推定式

イワシの資源調査では，1 次標本として体長標本を抽出し，その中から 2 次標本として，年令標本を任意抽出する，二重抽出法がとられている。そして，年令組成は，体長を層別に利用した，age-length key の方法を用いている。この場合の年令組成の精度について考えてみよう (Tanaka, 1953c。方法については，林, 1951, 或は Cochran, 1953 を参照)。

全漁獲物を母集団と考え，その大きさを N とする。N 尾の魚は，体長によつて R の階級にわけられており，l 体長級の尾数は N_l，割合で示せば $p_l(=N_l/N)$ となるものとする。l 体長級の魚 N_l 尾中での x 才魚の割合を p_{xl} であらわす。

N 尾の母集団から L 尾の第 1 次標本を抽出し，体長を測定する。ここで，L 尾中の l 体長級に属する尾数を L_l とすると，p_l は $L_l/L(=p_l')$ で推定される。L 尾の標本から，n 尾の第 2 次標本を抽出する。その抽出法としては，層別に L_l から $n_l(\sum n_l=n)$ を random に抽出する方法と，L 尾中から n 尾を random に抽出する方法の 2 通りがあるが，特に後者について考える。第 2 次標本中の l 体長級に属する n_l 尾について，年令査定を行なえば，この体長級の中での x 才魚の割合 p_{xl}'' が推定される。

ここで，y_x なる変量を考え，x 才魚については $y_x=1$，x 才以外の魚については $y_x=0$ と定義すると，年令組成 p_x の推定値は，

$$p_x''=\bar{y}_x''=\frac{1}{L}\sum_{l=1}^{R}\frac{L_l}{n_l}\sum_{j=1}^{n_l}y_{xlj}''=\sum_{l=1}^{R}p_l'\bar{y}_{xl}''=\sum_{l=1}^{R}p_l'p_{xl}'' \tag{43.4}$$

となる。ここで y_{xlj} は l 体長級中の j 個体の y_x の値をあらわす。

4.3.2.2 推定値の期待値及び分散

まず記号について簡単に説明する。(f)，(s) でそれぞれ第 1 次抽出，第 2 次抽出をあらわし，又 (s) についてはさらに，n_l を固定した上で，その中での標本個体の変る場合 (u)，及び n_l 自身の変化する場合 (t) の二つの段階を考えることにする。こうすると，

$$E_{px}''=E_f\Big(\frac{1}{L}\sum_{l=1}^{R}L_l\,E_{lu}^{(t)}\Big(\frac{1}{n_l}\sum_{j=1}^{n_l}y_{xlj}''\Big)\Big) \tag{43.5}$$

---

* 体長が異なると，いかに無意識的に標本をとつたつもりでも，標本が体長の大きいものにかたよる傾向がある。体長で層別してしまうと，その中での年令については，かたよる傾向はほとんどなくなり，よほど確率化され得るはずである。

** ここでの記号法は，だいたい斉藤・浅井 (1951)，林 (1951) によつている。

となるが，

$$\underset{t}{E^{(f)}}\underset{u}{E^{(ft)}}\left(\frac{1}{n_l}\sum_{j=1}^{n_l}y_{xlj}''\right)=\underset{t}{E^{(f)}}(\bar{y}_{xl}')=\bar{y}_{xl}'=\frac{1}{L_l}\sum_{j=1}^{L_l}y_{xlj}'$$

となるので，結局

$$E_{px}''=\underset{f}{E}\left(\frac{1}{L}\sum_{l=1}^{R}\sum_{j=1}^{L_l}y_{xlj}'\right)=\bar{y}_x=p_x \tag{43.6}$$

となり，p_x'' は不偏推定であることがわかる。もし第2次抽出が完全に層別抽出であつた場合でも，p_x'' は不偏推定になつている。

次に p_x'' の分散について考えよう。

$$\underset{fs}{V}(p_x'')=\underset{f}{V}(\underset{tu}{E^{(f)}}p_x'')+\underset{f}{E}[\underset{t}{V^{(f)}}(\underset{u}{E^{(ft)}}p_x'')+\underset{t}{E^{(f)}}\underset{u}{V^{(ft)}}(p_x'')] \tag{43.7}$$

であるが，第1項については

$$\underset{f}{V}\left[\frac{1}{L}\sum_{l=1}^{R}\underset{tu}{E^{(f)}}\left(\frac{L_l}{n_l}\sum_{j=1}^{n_l}y_{xlj}''\right)\right]=\underset{f}{V}\left[\frac{1}{L}\sum_{l=1}^{R}\sum_{j=1}^{L_l}y_{xlj}'\right]=\frac{N-L}{N-1}\frac{\sigma^2}{L} \tag{43.8}$$

ただし，

$$\sigma^2=\frac{1}{N}\sum_{l=1}^{R}\sum_{j=1}^{N_l}(y_{xlj}-\bar{y}_x)^2=p_x-p_x{}^2 \tag{43.9}$$

である。第2項については，

$$\underset{u}{E^{(ft)}}p_x''=\bar{y}_{xl}$$

であつて，n_l とは無関係であるので，

$$\underset{t}{V^{(f)}}(\bar{y}_{xl}')=0 \tag{43.10}$$

となり，結局第2項は0となる。第3項については

$$\underset{f}{E}\underset{t}{E^{(f)}}\underset{u}{V^{(ft)}}(p_x'')=\underset{f}{E}\underset{t}{E^{(f)}}\left(\frac{1}{L}\sum_{l=1}^{R}L_l{}^2\frac{L_l-n_l}{L_l-1}\frac{\sigma_l'^2}{n_l}\right)$$

$$=\underset{f}{E}\frac{1}{L^2}\sum_{l=1}^{R}L_l{}^2\frac{\sigma_l'^2}{L_l-1}\underset{t}{E^{(f)}}\left(\frac{L_l-n_l}{n_l}\right)$$

となる。但し，

$$\sigma_l'^2=\frac{1}{L_l}\sum_{j=1}^{L_l}(y_{xlj}'-\bar{y}_{xl})^2$$

である。ここで $1/n_l$ の期待値を求めねばならないが，近似的には

$$E(1/n_l)\fallingdotseq 1/E(n_l)$$

であるから

$$\underset{t}{E^{(f)}}\left(\frac{L_l-n_l}{n_l}\right)\fallingdotseq\frac{L_l}{\underset{t}{E^{(f)}}(n_l)}-1=\frac{L}{n}-1$$

とあらわすことができる。第2次抽出を (u) と (t) にわけたと同様にして，第1次抽出を $(h)(g)$ の2段階にわけて考える。そうすると，

$$\frac{1}{L}\left(\frac{1}{n}-\frac{1}{L}\right)\sum_{l=1}^{R}\underset{f}{E}\left(\frac{L_l{}^2}{L_l-1}\sigma_l'^2\right)=\frac{1}{L}\left(\frac{1}{n}-\frac{1}{L}\right)\sum_{l=1}^{R}\underset{g}{E}\frac{L_l{}^2}{L_l-1}\underset{h}{E^{(g)}}(\sigma_l'^2)$$

しかるに，

$$\underset{h}{E^{(g)}}(\sigma_l'^2)=\frac{L_l-1}{L_l}\frac{N_l}{N_l-1}\sigma_l{}^2$$

但し，

$$\sigma_l{}^2=\frac{1}{N_l}\sum_{j=1}^{N_l}(y_{xlj}-\bar{y}_{xl})^2=p_{xl}-p_{xl}{}^2 \tag{43.11}$$

であるから

$$\frac{1}{L}\left(\frac{1}{n}-\frac{1}{L}\right)\sum_{l=1}^{R} E_g\left(L_l-\frac{N_l}{N_l-1}\sigma_l^2\right)$$

$$=\left(\frac{1}{n}-\frac{1}{L}\right)\frac{1}{N}\sum_{l=1}^{R}\frac{N_l^2}{N_l-1}\sigma_l^2 \tag{43.12}$$

となる。結局

$$V(p_x'')\fallingdotseq\frac{N-L}{N-1}\frac{\sigma^2}{L}+\left(\frac{1}{n}-\frac{1}{L}\right)\frac{1}{N}\sum_{l=1}^{R}\frac{N_l^2}{N_l-1}\sigma_l^2 \tag{43.13}$$

ここで，N や N_l が充分に大きいとし，又

$$\frac{1}{N}\sum_{l=1}^{R} N_l\sigma_l^2=\sigma_w^2 \tag{43.14}$$

とおくと

$$V(p_x'')\fallingdotseq\frac{\sigma^2}{L}+\left(\frac{1}{n}-\frac{1}{L}\right)\sigma_w^2 \tag{43.15}$$

となる。或は

$$\sigma_b^2=\sum_{l=1}^{R} p_l(p_{xl}-p_x)^2=\sigma^2-\sigma_w^2 \tag{43.16}$$

として

$$\frac{\sigma^2}{L}=\frac{\sigma^2}{n}-\left(\frac{1}{n}-\frac{1}{L}\right)(\sigma_b^2+\sigma_w^2)$$

とおくと，

$$V(p_x'')\fallingdotseq\frac{\sigma^2}{n}-\left(\frac{1}{n}-\frac{1}{L}\right)\sigma_b^2 \tag{43.17}$$

を得る。もし第2次抽出が層別比例抽出の場合には，これと全く同じ式が得られる。つまり第2次抽出が random であつても，$E(1/n_l)\fallingdotseq 1/E(n_l)$ がみとめられるかぎり，完全に層別して比例抽出を行なつたと同様の結果が得られることになる。

この式で，第1項 σ^2/n は，n 尾だけの年令査定によつて，直接年令組成を求めた場合の分散に相対しているので，第2項が二重抽出による体長層別の効果をあらわしている。σ_b^2 が大きいほど，つまり層間分散の大きいほど精度の向上の著しいことがわかる。そのような場合には，L を大きくし，n を小さくすることによつて，一定の費用のもとで，よりよい精度を得ることができる。この傾向は，体長測定に対して，年令査定の作業が，より多くの手間を要する場合ほど強くなる。L を次第に大きくして，$L=N$ とすると，

$$V(p_x'')=\frac{1}{n}(\sigma^2-\sigma_b^2)=\frac{\sigma_w^2}{n} \tag{43.18}$$

となり，層別1段抽出の場合と等しくなる。これが L を大きくして精度をよくし得る限界である。

4.3.2.3 若干の実例*

例 1. 大羽マイワシ

日本海区水産研究所で調査した大羽マイワシのデータによつて，年令組成を計算してみる。データを Table 4.3 に，結果を Table 4.4 に示す。ここで C_{px}'' は，p_x'' の変動係数，即ち $\sqrt{V(p_x'')}/p_x''$ である。又 $\overline{C}_{px}''$, $\underline{C}_{px}''$ は，それぞれ，$L=n$, $L=N$ とした場合の変動係数をあらわしている。即ち，

$$\overline{C}_{px}''=\frac{\sigma}{\sqrt{n}\,p_x''},\qquad \underline{C}_{px}''=\frac{\sigma_w}{\sqrt{n}\,p_x''}$$

である。

---

* 実際のデータは，1次標本が3段（日—船—魚体），2次標本が任意抽出となつているので，1次，2次標本とも1段の任意抽出を仮定している分散の式は，実際はあてはめられない。ここでは，一つの数値例として，日間及び船間変動はないものと仮定して，分散式をあてはめてみることにする。

第 4.3 表 大羽マイワシの age-length key (石川県西海, 流網, 1951 年 4～5 月)

Table 4.3. Age-length key of large sized sardine.
(Saikai, Ishikawa Prefecture; drift net; April—May, 1951).

B.L. l \ 年令 x	p_{xl}'' II	III	IV	V	VI	n_l	p_l'
cm							
— 19.5	0.969 (31)	0.031 (1)				32	0.103
19.5 — 20.0	.769 (49)	.219 (14)	0.016 (1)			64	.138
20.0 — 20.5	.554 (67)	.430 (52)	.017 (2)			121	.218
20.5 — 21.0	.275 (44)	.706 (113)	.019 (3)			160	.179
21.0 — 21.5	.124 (19)	.804 (123)	.072 (11)			153	.141
21.5 — 22.0	.042 (4)	.642 (61)	.259 (28)	0.021 (2)		95	.090
22.0 — 22.5		.126 (11)	.575 (50)	.253 (22)	0.046 (4)	87	.064
22.5 — 23.0		0.47 (4)	.430 (37)	.349 (30)	.174 (15)	86	.034
23.0 — 23.5			.170 (8)	.574 (27)	.255 (12)	47	.016
23.5 — 24.0			.200 (3)	.400 (6)	.400 (6)	15	.007
24.0 — 24.5				.100 (1)	.900 (9)	10	.001
24.5 —				.167 (1)	.833 (5)	6	.001
計 Total	(214)	(379)	(143)	(89)	(51)	n=876	L=1,418

( ) 内の数字は尾数。
Figures in parentheses are number of fish.

第 4.4 表 大羽マイワシの年令組成推定結果及び精度

Table 4.4. Estimated age camposition and its precision for large sized sardine. (From Table 4.3).

年令 Age	p_x''	σ^2	σ_w^2	σ_b^2	σ_b^2/σ_w^2	$V(p_x'')$	C_{px}''	$\overline{C}_{px}''$	$\underline{C}_{px}''$
II	0.40	0.240	0.138	0.102	0.739	0.000229	0.038	0.041	0.031
III	.43	.246	.171	.075	.439	.000247	.036	.039	.032
IV	.10	.092	.065	.027	.415	.000093	.096	.099	.084
V	.04	.041	.028	.013	.464	.000041	.151	.163	.135
VI	.02	.017	.013	.004	.308	.000018	.242	.260	.228

第 4.5 表 カタクチイワシの age-length key (千葉県片貝, 地曳網, 1951 年 7～9 月)

Table 4.5. Age-length key of anchovy.
(Katagai, Chiba Prefecture; beach seine; July—September, 1951).

B.L. l \ 年令 x	p_{xl}'' 0	I	II	n_l	p_l'
cm					
— 7.0	1.0000 (27)			27	0.293
7.0 — 7.5	1.0000 (16)			16	.127
7.5 — 8.0	0.667 (10)	0.333 (5)		15	.105
8.0 — 8.5	0.530 (9)	0.470 (8)		17	.099
8.5 — 9.0	0.200 (3)	0.800 (12)		15	.117
9.0 — 9.5		1.000 (7)		7	.080
9.5 — 10.0		0.889 (8)	0.111 (1)	9	.066
10.0 — 10.5		0.250 (1)	0.750 (3)	4	.041
10.5 — 11.5			1.000 (4)	4	.050
11.5 —			1.000 (4)	4	.024
計 Total	(65)	(41)	(12)	n=118	L=639

( ) 内の数字は尾数。
Figures in parentheses are number of fish.

例 2. カタクチイワシ

例 1 と同様の事を，カタクチイワシに適用してみると，Table 4.5, Table 4.6 のようになる。

第 4.6 表 カタクチイワシの年令組成推定結果及び精度

Table 4.6. Estimated age composition and its precision for anchovy. (From Table 4.5).

年令 Age	p_x''	σ^2	σ_w^2	σ_b^2	σ_b^2/σ_w^2	$V(p_x'')$	C_{px}''	$\overline{C}_{px}''$	$\underline{C}_{px}''$
0	0.57	0.246	0.071	0.175	2.46	0.000877	0.052	0.081	0.043
I	.32	.219	.089	.131	1.47	.000957	.095	.133	.085
II	.11	.100	.018	.082	4.56	.000277	.148	.260	.109

例 3. その他の例

その他のいくつかの例を，Table 4.7 に示す。

第 4.7 表 その他の地域についての例

Table 4.7. Examples for sardine and anchovy landed in other areas.

魚種・場所・期日 Species, Location, Period	標本の大きさ Sample size	年令 Age	p_x''	σ^2	σ_w^2	σ_b^2	σ_b^2/σ_w^2	$V(p_x'')$	C_{px}''
マイワシ Sardine 福井県敦賀 Tsuruga, Fukui Pref. 1951 年 4—5 月 Apr.—May, 1951	$L=470$ $n=63$	II	0.39	0.238	0.154	0.085	0.552	0.002620	0.131
		III	.31	.214	.198	.016	.081	.003180	.182
		IV	.15	.128	.124	.004	.032	.001969	.295
		V	.10	.087	.080	.007	.088	.001290	.372
		VI	.05	.050	.035	.015	.429	.000592	.459
マイワシ Sardine 新潟県寺泊 Teradomari, Niigata Pref. 1951 年 4—5 月 Apr.—May, 1951	$L=2,725$ $n=121$	II	0.26	0.191	0.111	0.180	0.720	0.000947	0.120
		III	.54	.248	.154	.094	.610	.001307	.067
		IV	.15	.124	.168	.057	.838	.000580	.166
		V	.05	.043	.035	.008	.229	.000296	.379
		VI	.01	.011	.005	.005	1.000	.000047	.645
マイワシ Sardine 新潟県新潟 Niigata, Niigata Pref. 1951 年 4—5 月 Apr.—May, 1951	$L=1,536$ $n=168$	II	0.38	0.235	0.148	0.088	0.594	0.000617	0.065
		III	.44	.246	.192	.055	.286	.000449	.049
		IV	.13	.111	.080	.031	.387	.000238	.121
		V	.06	.054	.040	.014	.350	.000107	.180
マイワシ Sardine 山形県加茂 Kamo, Yamagata Pref. 1951 年 4—5 月 Apr.—May, 1951	$L=1,222$ $n=252$	II	0.25	0.186	0.117	0.069	0.590	0.000519	0.093
		III	.45	.248	.184	.064	.348	.000782	.062
		IV	.11	.100	.083	.017	.205	.000344	.164
		V	.12	.108	.095	.013	.137	.000387	.160
		IV	.07	.062	.045	.017	.378	.000192	.210
カタクチイワシ Anchovy 静岡県清水 Shimizu, Shizuoka Pref. 1951 年 7—9 月 July—Sep., 1951	$L=846$ $n=250$	0	0.638	0.257	0.062	0.155	2.50	0.000431	0.030
		I	.313	.215	.065	.150	2.31	.000437	.067
		II	.005	.005	.003	.002	0.67	.000014	.740

例 1 と例 2 を比較してみると，最もはつきりした差が σ_b^2/σ_w^2 の値にあらわれている。この値は，$L=n$ の場合に比較した，$L=N$ の時の情報量（分散の逆数）の増加分をあらわしている。* マイワシでは σ_b^2/σ_w^2

* $\left(\frac{1}{\sigma_w^2/n}-\frac{1}{\sigma^2/n}\right)\Big/\frac{1}{\sigma^2/n}=\frac{\sigma_b^2\sigma^2}{\sigma_w^2\sigma^2}=\frac{\sigma_b^2}{\sigma_w^2}$

の値は1以下であるが，一方カタクチイワシでは，1より大きくなつている。マイワシ大羽では成長がゆるやかで，各年令の体長範囲は大きくかさなつている。体長から年令を推定することがそれだけ困難なわけである。したがつて，体長による層別の効果もそれだけ小さい。これに対してカタクチイワシでは，成長が急で，年令間のかさなりが少なく，体長だけでもだいたいの年令を推定し得る程度であるが，それだけ層別の効果は大きい。3種の変動係数を比較すると，マイワシでは，三つの間であまり差がないが，カタクチイワシではかなり大きな差がみられ，体長組成を利用することによつて，年令査定の手間を大巾にへらすことが可能である。ここには数値を示していないが，キダイについて計算した結果（田中，1956b）では，σ_b^2/σ_w^2 の値はカタクチイワシよりも大きく，2以上，4前後となつている。この程度の値となると，4.5.4 で述べるように，体長組成からだけでも，年令組成を推定することが可能となる。

4.4 生残率の推定

4.4.1 生残率の推定法

生残率を求める方法はいろいろと考えられている。ここでは年令組成を用いる推定法について考える。最も直接的な方法は，年々の年令組成で，同一年級についてその比をとる方法である。この方法は，漁獲物が海の中の資源の組成を正しく代表しているかぎり，いつでも用いることができる。年令により，又年により生残率に差のある場合にも応用される。他のほとんどの方法は，死亡率が，年令や年によらず一定で，したがつて，年令組成が等比級数的になつていることを仮定している。それ等のうちで，最も簡単な方法は，片対数方眼紙にプロットした年令組成に直線をあてはめるものである（土井，1949b，及び，Figs. 2.3, 2.4 参照）。この場合，生残率の推定値の精度についての情報も得ることができる。これよりも技巧的方法としては，指数分布の平均値が減少係数の逆数と関連していることを利用した方法（上井，1948），標本中の最高年令と平均との差を利用する方法（田内，1947；Kurita，1948）等があるが，これ等は必ずしも一般的ではない。

年令組成 p_x' がわかつていて，それ等が等比級数的である場合に，これから生残率 S を求める方法として，しばしば用いられる式に

$$\hat{S}=\frac{p_2'+p_3'+\cdots\cdots+p_r'}{p_1'+p_2'+\cdots\cdots+p_{r-1}'} \tag{44.1}$$

がある（田内，1936；Ricker，1948）。Ricker は

$$\hat{S}^2=\frac{p_3'+p_4'+\cdots\cdots+p_r'}{p_1'+p_2'+\cdots\cdots+p_{r-2}'} \tag{44.2}$$

という式も示しているが，(44.1) 式の方が一般的である。この式の意味は，母集団において

$$S=\frac{p_2}{p_1}=\frac{p_3}{p_2}=\cdots\cdots=\frac{p_r}{p_{r-1}} \tag{44.3}$$

という関係がなり立つている時，この母集団から n 尾の標本を random に抽出して，$n_1, n_2, \cdots\cdots, n_r$ $(n_1+n_2+\cdots\cdots+n_r=n)$ を知つたとすると，n_2/n_1, $n_3/n_2, \cdots\cdots$, n_r/n_{r-1} という $r-1$ 個の S の推定値を，それぞれの分母を重みにして平均したものである。即ち，

$$\hat{S}=\frac{\frac{n_2}{n_1}n_1+\frac{n_3}{n_2}n_2+\cdots\cdots+\frac{n_r}{n_{r-1}}n_{r-1}}{n_1+n_2+\cdots\cdots+n_{r-1}}$$

$$=\frac{n_2+n_3+\cdots\cdots+n_r}{n_1+n_2+\cdots\cdots+n_{r-1}}=\frac{p_2'+p_3'+\cdots\cdots+p_r'}{p_1'+p_2'+\cdots\cdots+p_{r-1}'} \tag{44.4}$$

である。したがつて，もし母生残率が年令によらず一定ならば，この式は S の推定式として統計的意味をもつている。

4.4.2 年令組成から推定した生残率の精度

4.4.2.1 標本が random に抽出された場合（田中，1953a）

ここでいう年令組成からの生残率の推定式とは，(44.1) 或は (44.4) 式の事である。今 x 才から $x+r-1$

才までの間で，漁獲物中の年令組成が等比級数的になつているとすると，

$$\hat{S}=\frac{(n_{x+1}+n_{x+2}+\cdots\cdots+n_{x+r-2})+n_{x+r-1}}{n_x+(n_{x+1}+n_{x+2}+\cdots\cdots+n_{x+r-2})} \tag{44.5}$$

として S が推定される。ここで x 才をA，$x+1\sim x+r-2$ 才をB，$x+r-1$ 才をCとし，又これ等の年令以外の魚がまじつている時は，これをDとする。上の式は

$$\hat{S}=\frac{n_B+n_C}{n_A+n_B}=\frac{p_B'+p_C'}{p_A'+p_B'} \tag{44.6}$$

となる。y，z 二つの変量を考え，この数値を Table 4.8 のように定義する。これ等の y，z を用いると，

第 4.8 表 変数 y，z の定義

Table 4.8. Definition of variables y and z.

j—個体の属する階級 Age group	j—個体の y の値：y_j	j—個体の z の値：z_j
A	0	1
B	1	1
C	1	0
D	0	0

$$\left.\begin{aligned} n_A+n_B&=\sum_{j=1}^{n}z_j', & p_A'+p_B'&=\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}z_j'=\bar{z}' \\ n_B+n_C&=\sum_{j=1}^{n}y_j', & p_B'+p_C'&=\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}y_j'=\bar{y}' \end{aligned}\right\} \tag{44.7}$$

となるので，

$$\hat{S}=\frac{\sum_{j=1}^{n}y_j'}{\sum_{j=1}^{n}z_j'}=\frac{\bar{y}'}{\bar{z}'} \tag{44.8}$$

この $\hat{S}$ の分散は，比推定の公式により，

$$V(\hat{S})\fallingdotseq\frac{\hat{S}^2}{n}\left[\frac{\sigma_y^2}{\bar{y}^2}+\frac{\sigma_z^2}{\bar{z}^2}-2\frac{\mathrm{Cov}(y,z)}{\bar{y}\cdot\bar{z}}\right] \tag{44.9}$$

ここで，母集団の大きさを N とすると，

$$\left.\begin{aligned} \sigma_y^2&=\sum_{j=1}^{N}(y_j-\bar{y})^2/N=(p_B+p_C)-(p_B+p_C)^2 \\ \sigma_z^2&=\sum_{j=1}^{N}(z_j-\bar{z})^2/N=(p_A+p_B)-(p_A+p_B)^2 \\ \mathrm{Cov}(y,z)&=\sum_{j=1}^{N}(y_j-\bar{y})(z_j-\bar{z})/N=\sum_{j=1}^{N}y_jz_j/N-\bar{y}\,\bar{z} \\ &=p_B-(p_B+p_C)(p_A+p_B) \end{aligned}\right\} \tag{44.10}$$

である。これを上の式に入れて整理すると，

$$V(\hat{S})\fallingdotseq\left(\frac{p_B+p_C}{p_A+p_B}\right)^2\frac{1}{n}\,\frac{p_A+p_C}{(p_B+p_C)(p_A+p_B)} \tag{44.11}$$

変動係数であらわすと

$$C_S^2=\frac{V(\hat{S})}{S^2}\fallingdotseq\frac{1}{n}\,\frac{p_A+p_C}{(p_B+p_C)(p_A+p_B)} \tag{44.12}$$

である。今 p_A，p_B，p_C を S であらわすことを考えてみると，

$$1-p_D=p_A+p_B+p_C=p_A+p_A(S+S^2+\cdots\cdots+S^{r-2})+p_AS^{r-1} \tag{44.13}$$

であることから，

$$\left.\begin{aligned} p_A &= (1-p_D)(1-S)/(1-S^r) \\ p_B &= p_A S(1-S^{r-2})/(1-S) = (1-p_D)S(1-S^{r-2})/(1-S^r) \\ p_C &= p_A S^{r-1} = (1-p_D)S^{r-1}(1-S)/(1-S^r) \end{aligned}\right\} \quad (44.14)$$

となるから，

$$\left.\begin{aligned} p_A+p_B &= (1-p_D)(1-S^{r-1})/(1-S^r) \\ p_B+p_C &= (1-p_D)S(1-S^{r-1})/(1-S^r) \\ p_A+p_C &= (1-p_D)(1-S)(1+S^{r-1})(1-S^r) \end{aligned}\right\} \quad (44.15)$$

これを (44.11)，(44.12) 式に代入すると，

$$V(\hat{S}) \fallingdotseq \frac{S^2}{n(1-p_D)} \frac{(1-S)(1-S^r)(1+S^{r-1})}{S(1-S^{r-1})^2} \quad (44.16)$$

$$C_S{}^2 \fallingdotseq \frac{1}{n(1-p_D)} \frac{(1-S)(1-S^r)(1+S^{r-1})}{S(1-S^{r-1})^2} \quad (44.17)$$

となる。ここで，$n(1-p_D)$ は，n 尾の標本中での，生残率の計算に必要なA，B，C群に属する魚体の数，即ち有効標本サイズの期待値である。実際に得られた精度を見積る場合には，上の精度公式の各母数に，標本からの推定値を代入すればよい。

特殊な場合として，二つの年令群だけを比較する場合には，上の式で $r=2$ とおけばよい。この場合には，

$$C_S{}^2 \fallingdotseq \frac{1}{n_x+n_{x+1}} \frac{(1+S)^2}{S} \quad (44.18)$$

となる。

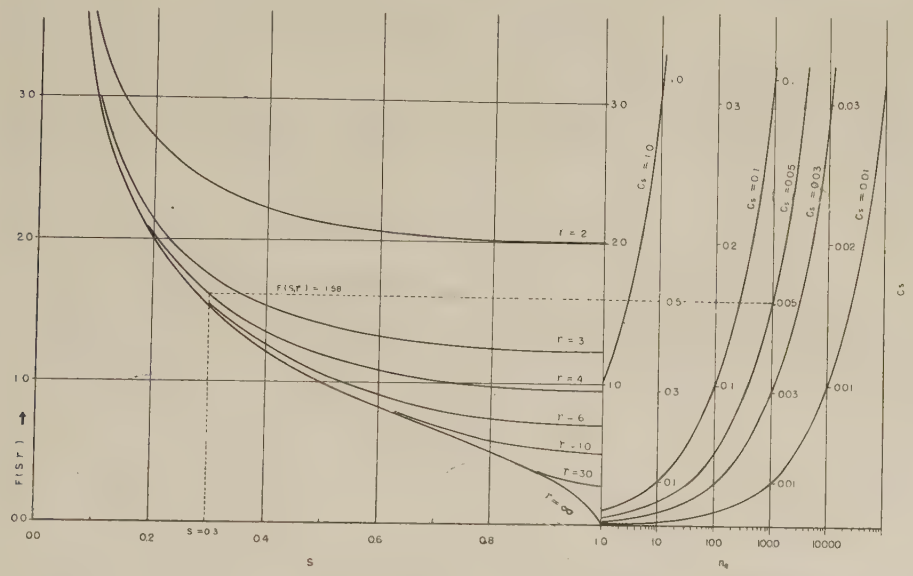
今

$$n_e = n(1-p_D), \quad [F(S, r)]^2 = \frac{(1-S)(1-S^r)(1+S^{r-1})}{S(1-S^{r-1})^2} \quad (44.19)$$

とおき，(44.17) 式を

$$C_S \fallingdotseq F(S, r)/\sqrt{n_e} \quad (44.20)$$

とあらわすと，$F(S, r)$ は母集団によつて決定される量で，これが与えられると，有効標本サイズ n_e と精



第 4.3 図　母生残率，年令範囲及び標本の大きさから推定生残率の精度を見積る図。

Fig. 4.3. Diagram for estimating the precision of survival rate estimated from population survival rate S, range of age r and sample size n_e.

度 C_S の関係が決定される。Fig. 4.3 で，左側が $F(S, r)$ を与える図であり，右側にこの $F(S, r)$ の時の C_S と n_e との関係を示した。n_e は対数尺で目盛つてある。たとえば，$r=4$, $S=0.3$ であるとすると，まず左側の図によつて，$F(S, r)=1.58$ を知り，これを右にのばして，$C_S=5\%$ とした時に，約 1,000 尾の有効標本の必要であることがわかる。

4.4.2.2 体長層別によつて年令組成を推定した場合

(44.8) 及び (44.9) 式は，いかなる標本抽出によつた場合にも拡張して適用される。標本抽出が 3 段である場合の式を書下すのには，なんの問題もない。ところで，4.3.2 で，体長層別によつて，年令組成の精度をあげうることを述べたが，その場合の生残率の推定精度について考えてみよう (Tanaka, 1953b)。今 $r=2$ とし，x 及び $x+1$ の二つの年令群の比較だけを考えることにする。$r=2$ の場合には，Table 4.8 で B の組がなくなることになる。

$$\hat{S}=\frac{p_{x+1}''}{p_x''} \tag{44.21}$$

とおくと，比推定の公式より

$$V(\hat{S})=\left(\frac{Ep_{x+1}''}{Ep_x''}\right)^2\left[\frac{V(p_{x+1}')}{(Ep_{x+1}'')^2}+\frac{V(p_x'')}{(Ep_x'')^2}-2\frac{\mathrm{Cov}(p_x'', p_{x+1}'')}{(Ep_x'')(Ep_{x+1}'')}\right] \tag{44.22}$$

となる。ここで

$$\left.\begin{aligned} &E(p_{x+1}'')=p_{x+1}, \quad E(p_x'')=p_x \\ &V(p_{x+1}'')\fallingdotseq\frac{{\sigma_{x+1}}^2}{n}-\left(\frac{1}{n}-\frac{1}{L}\right){\sigma_{b,\,x+1}}^2, \quad V(p_x'')\fallingdotseq\frac{{\sigma_x}^2}{n}-\left(\frac{1}{n}-\frac{1}{L}\right){\sigma_{bx}}^2 \end{aligned}\right\} \tag{44.23}$$

又共分散についても同様にして

$$\mathrm{Cov}(p_x'', p_{x+1}'')\fallingdotseq\frac{\mathrm{Cov}(y, z)}{n}-\left(\frac{1}{n}-\frac{1}{L}\right)\mathrm{Cov}_b(y, z) \tag{44.24}$$

となる。これを代入すると，

$$\begin{aligned} V(\hat{S})\fallingdotseq S^2\Bigg[&\frac{1}{n}\left(\frac{{\sigma_{x+1}}^2}{{p_{x+1}}^2}+\frac{{\sigma_x}^2}{{p_x}^2}-2\frac{\mathrm{Cov}(y, z)}{p_xp_{x+1}}\right) \\ &-\left(\frac{1}{n}-\frac{1}{L}\right)\left(\frac{{\sigma_{bx+1}}^2}{{p_{x+1}}^2}+\frac{{\sigma_{bx}}^2}{{p_x}^2}-2\frac{\mathrm{Cov}_b(y, z)}{p_xp_{x+1}}\right)\Bigg] \end{aligned} \tag{44.25}$$

この式中での分散や共分散は

$$\left.\begin{aligned} &{\sigma_x}^2=p_x-{p_x}^2, \quad \mathrm{Cov}(y, z)=-p_xp_{x+1} \\ &{\sigma_{bx}}^2=\sum_{l=1}^{R}(p_{xl}-p_x)^2, \quad \mathrm{Cov}_b(y, z)=\sum_{l=1}^{R}p_l(p_{x+1,\,l}-p_{x+1})(p_{xl}-p_x) \end{aligned}\right\} \tag{44.26}$$

であるから，

$$V(\hat{S})\fallingdotseq S^2\left[\frac{1}{n}\left(\frac{1}{p_{x+1}}+\frac{1}{p_x}\right)-\left(\frac{1}{n}-\frac{1}{L}\right)\sum_{l=1}^{R}p_l\left(\frac{p_{x+1,\,l}}{p_{x+1}}-\frac{p_{x,\,l}}{p_x}\right)^2\right] \tag{44.27}$$

第 4.9 表 生残率の推定結果及び精度 (Table 4.3 のデータによる)

Table 4.9. Estimated survival rate and its precision for large sized sardine. (From Table 4.3).

年令 Age	p_x''	p_{x+1}''/p_x''	C_S''	$\mathrm{Cov}(y, z)$	$\mathrm{Cov}_w(y, z)$	$\mathrm{Cov}_b(y, z)$	C_b/C_w
II	0.401	1.082	0.069	−0.1744	−0.1307	−0.0437	0.470
III	.435	0.236	0.111	−0.0446	−0.0354	−0.0092	0.377
IV	.103	0.420	0.190	−0.0044	−0.0176	0.0132	0.113
V	.043	0.414	0.298	−0.0008	−0.0068	0.0060	0.057
VI	.018						

$$C_w=\frac{{\sigma_{xw}}^2}{{p_x}^2}+\frac{{\sigma_{x+1,\,w}}^2}{{p_{x+1}}^2}-2\frac{\mathrm{Cov}_w(y, z)}{p_x\cdot p_{x+1}}, \quad C_b=\frac{{\sigma_{xb}}^2}{{p_x}^2}+\frac{{\sigma_{x+1,\,b}}^2}{{p_{x+1}}^2}-2\frac{\mathrm{Cov}_b(y, z)}{p_x\cdot p_{x+1}}$$

第 4.10 表 生残率の推定結果及び精度 (Table 4.5 のデータによる)

Table 4.10. Estimated survival rate and its precision for anchovy. (From Table 4.5).

年令 Age	p_x''	p_{x+1}''/p_x''	C_S''	Cov (y, z)	$\mathrm{Cov}_w(y, z)$	$\mathrm{Cov}_b(y, z)$	C_b/C_w
0	0.566	0.573	0.143	−0.1834	−0.0712	−0.1122	1.631
I	0.324						
II	0.112	0.346	0.203	−0.0363	−0.0176	−0.0187	2.735

C_w, C_b については Table 4.9 参照。 See Table 4.9 for C_w and Cd.

となる。Table 4.3, Table 4.5 のデータから計算した結果を Table 4.9, Table 4.10 に示す。4.3.2 で述べた事と同じことがここでもいえる。$\mathrm{Cov}_b(y, z)/\mathrm{Cov}_w(y, z)$ の値が，大羽マイワシでは 1 以下でありカタクチイワシの場合は 1 以上となつている。つまり年令組成の精度が高くなることによつて，生残率の推定精度も向上するわけである。

4.5 体長組成の解析

4.5.1 モードに注目した体長組成の解析法

体長組成は，4.3 でも述べたように，年令組成を推定するための補助的データとして，極めて重要であるが，時には，体長組成そのものが，年令組成にかわつて重要な役割をはたすこともある。たとえば，年令査定の困難な場合には，体長が唯一のよりどころであるし（たとえば，土井，1949a），又同一年令中にいくつもの broods がある場合には，体長がこれ等の broods を区別する重要な要素となる。体長組成をこのような意味で解釈する際に，モードが最も重要な手がかりとなる。Buchanan-Wollaston and Hodgson (1929) の考えは，この点で興味あるものである。同じ考え方を応用した例としては，シログチ（林，1953），ビンナガマグロ（須田，1954），キダイ（岡，1954；田中，1956b）等，いくつかの例がある。

一般に，個々の年令群，或は個々の brood 内での体長組成は，正規分布をすると考えてよいであろう。しかし，いくつかの年令群や broods が混合している場合には，全体を込みにした平均や分散は，全く意味をもたない事になる。もし 2 群のかさなり方が少なく，ほとんど完全に分離している場合には Cohen (1949) の方法によつて，単位群の平均や分散を推定することができる。又群が二つだけで，しかも分散の等しいことがわかつておれば，Rao (1948) の積率法，及び最尤法，或は Preston (1953) の図式法も利用できる。しかし，これ等の条件の満されていない場合には，個々の個体を識別して，年令群等にわけないかぎり，一つ一つの正規分布のパラメタを推定する厳密な方法はない。しかし，実用的意味からは，体長組成中にあらわれるモードを，一つの手がかりとして解いてゆく方法は，充分に見込のある方法である。ただし，正規分布が混合した時に，必ず bimodal になると限つたわけではないし，常にモードが正しい手がかりを与えるとも限らないので，まずモードの性質そのものを考えてみる必要があろう。

4.5.2 正規分布をする 2 群の混合した分布型

最も簡単な場合として，二つの正規分布の混合型を考えよう（田中，1954c）。二つの群の間で，平均の差を d，標準偏差の比を σ，混合比を p とすると，混合群での確率密度は，

$$f(y\,;\,d, \sigma, p)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\,(1+p)}\left\{e^{-\frac{y^2}{2}}+\frac{p}{\sigma}e^{-\frac{(y-d)^2}{2\sigma^2}}\right\} \tag{45.1}$$

となる。この 1 次導函数を 0 とおくと，

$$ye^{-\frac{y^2}{2}}=-\frac{p}{\sigma}\frac{y-d}{\sigma^2}e^{-\frac{(y-d)^2}{2\sigma^2}} \tag{45.2}$$

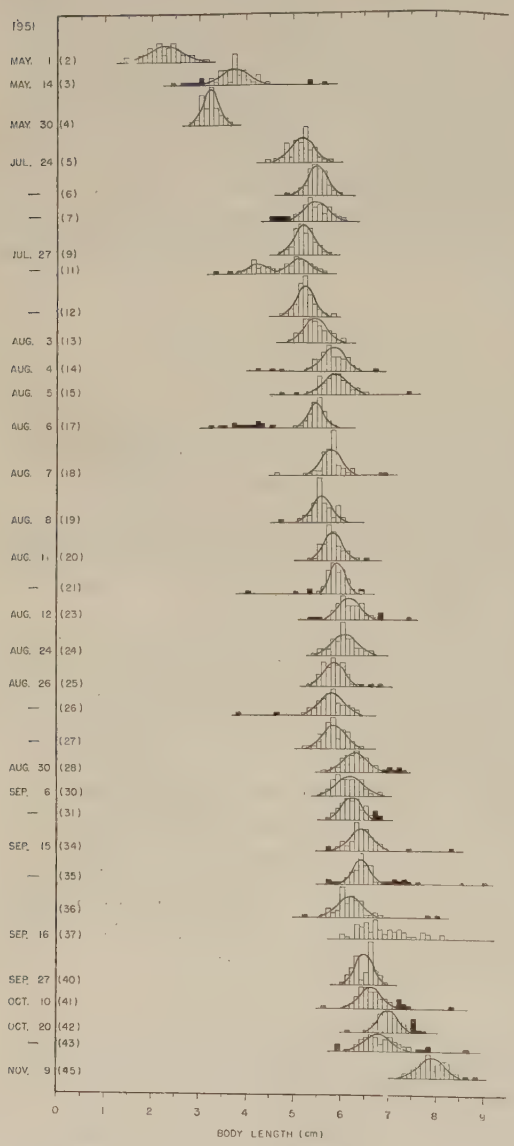
を得る。ここで

$$\zeta=\frac{d-y}{\sigma} \tag{45.3}$$

とおくと，(45.2) 式は

$$ye^{-\frac{y^2}{2}}=\frac{p}{\sigma^2}\zeta e^{-\frac{\zeta^2}{2}} \qquad (45.4)$$

となる。これを解くと，極大点の数，及び位置を知ることができる。d が小さい間は，極大点が一つしかあらわれないが，d がある値をこえると，bimodal となる。二つの群での分散と混合比がそれぞれ等しい時に，最も bimodal となりやすく，これからはずれるほど，モードが二つに分離しにくくなる。モードの位置は，それぞれの群の平均値に近い。そして，モードの分離が明瞭なほど，この傾向は強く，又高い方のモードの位置は，ほとんど常に主要群の平均値を与える。しかし，モードが二つに分離していない時のモードの位置は，必ずしも主要群の平均値をあらわすとは限らない。



第 4.4 図 伊勢湾パッチ網の標本船別カタクチイワシ体長組成。標本の大きさはいずれも 60 尾，曲線は白い部分にあてはめられた正規分布

Fig. 4.4. Body length compositions of anchovy by sample boat of "batch ami" (boat seine) in Ise Bay. Each sample consists of 60 individuals. Curves are normal distribution fitted to white columns.

モードが二つに分離した時のモードの高さを考えてみよう。もしそれぞれが単独に存在しているとすると，極大値の比は $1:p/\sigma$ となる。混合群の場合について，モードの高さを求めてみると，モードが二つに分離する程度に平均がひらいている時には，モードの高さは，だいたい単独の場合の値に近く，特に高い方のモードでこのことが著しい。つまり，もしモードが明瞭に分離しておれば，何等かの方法で σ が推定された時には，モードの高さの比から，2 群の混合比 p を推定することができる。

モードが二つに分離した時には，二つのモードの間に極小点があらわれる。この極小点で組成を 2 分し，それぞれの部分について平均，左右の面積の比を計算してみると，正しい平均や混合比と比較して，かなりの偏りがあり，この点モードの方がすぐれている。

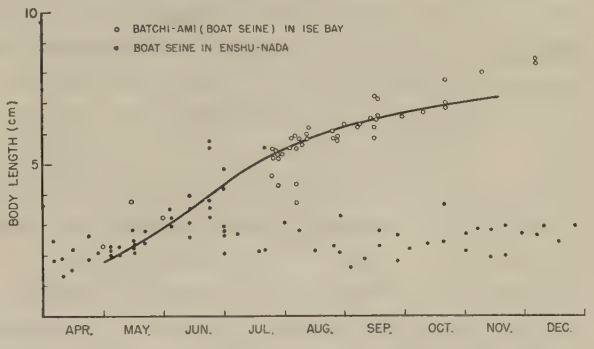
4.5.3 カタクチイワシの体長組成の解析

伊勢湾や遠州灘方面で漁獲されるカタクチイワシは，その大部分が当才魚であつて，体長組成は，分布巾のせまい均質な型をしている。当才魚だけであるから，年令組成は全く意味をもたないが，体長組成の季節的な移りかわりは，かなり重要な情報を提供してくれる（田中，1956a）。

伊勢湾のパッチ網漁獲物の，標本別体長組成は，Fig. 4.4 のようである。これを Cassie (1954) の確率紙法でしらべてみると，正規分布をするとみられる主群と，これより大きい群，

及び小さい群がごく少数混つた混合群であることがわかる。Fig. 4.4 では，主群と思われるものを白，それ以外を黒で示し，又主群に対してあてはめた正規曲線を示してある。* あてはめられた正規分布をみると，標準偏差が 0.2 cm 附近で，だいたいそろつており，したがつて主群を単純な一つの群とみてよいと思われる。これ以外のものは，他の brood に属するものと考える。以上のことから，標本船別の体長組成を，特にモードに注目してみれば，異質の群の混合にじやまされることなしに，ある群について，その体長の季節変化をたどることのできることがわかる。主群のみをとり出して，正規分布をあてはめた場合では，モードのかわりに，平均値を用いることもできる。

以上の方法を，1951年の遠州灘のカタクチシラス及び伊勢湾のカタクチイワシ成魚型の体長組成に応用して，標本中の主群の平均体長を求め，時間に対してプロットしてみると，Fig. 4.5 となる。この図をみると，4月中に 1～2 cm 平均だつた遠州灘のシラスが，6月一ぱいまでに 4 cm に成長し，その後7月後半から11月にかけて，伊勢湾内で，パッチ網によつて漁獲され，その間 7～8 cm まで成長している様子がわかる。この外に，より大型の群，及び小型の群が，平行して成長していく様子もうかがえる。これ等のことは，カタクチイワシ当才魚の成長についての情報を提供してくれるとともに，遠州灘のシラスと伊勢湾内のカタクチイワシ成魚型が関連をもつていることを示しており，この方面のカタクチイワシの回遊についての暗示を与えてくれる。



第 4.5 図　カタクチイワシ平均体長の季節変化
(Fig. 44 も参照)

Fig. 4.5. Seasonal change of mean length of anchovy. See also Fig. 4.4.

4.5.4 Polymodal な体長組成の解析

Buchanun-Wollaston and Hodgson (1929) は，体長組成にあらわれる凹凸に着目し，それぞれの山に正規分布をあてはめて，単位群に分割することを提案している。このように体長分布が polymodal になつた時は，モードをたよりに，単位の群に分割する方法がいくつか考えられている。Buchanun-Wollaston and Hodgson は，モード附近の3点をえらんで，その対数に抛物線をあてはめる方法や，free hand で線を引く方法を引く方法を考えている。岡 (1954) は，同様な立場で，抛物線の微係数が直線になることを応用して，頻度分布の対数の1次階差に，幾本かの右下りの直線をあてはめる方法を提案している。正規分布の対数が抛物線となることを利用した方法とは別に，Harding (1949) は，確率紙を利用する方法を考えている。Cassie (1954) は，多くの例について，簡便な計算法を示している。以上の方法は，いずれも一長一短があり，いずれの方法が特にすぐれているとはいえない。次に示す方法 (田中，1956b) は，比較的簡単で，しかもかなり精度がよいので，実用性は高いと思われる。

体長 l が正規分布をするものとし，その平均を μ，分散を σ^2，又尾数を N とすると，体長分布は，

$$f(l)=\frac{N}{\sqrt{2\pi}\sigma}e^{-\frac{(l-\mu)^2}{2\sigma^2}} \qquad (45.5)$$

となり，

$$\log f(l)=\log\frac{N}{\sqrt{2\pi}\sigma}-\frac{(l-\mu)^2}{2\sigma^2}\cdot 0.4343=a+bl+cl^2 \qquad (45.6)$$

となる。ただし，

---

* 正規曲線のあてはめ方は，正規確率紙上で，不純な個体をのぞいた上で，free hand で直線をあてはめる方法によつた。

$$\left.\begin{aligned} a&=\log(N/\sqrt{2\pi}\sigma)-0.4343\,\mu^2/2\sigma^2 \\ b&=0.4343\,\mu/\sigma^2 \\ c&=-0.4343/2\sigma^2 \end{aligned}\right\} \qquad (45.7)$$

である。もし $\mu=0$ とすると，

$$a=\log(N/\sqrt{2\pi}\sigma), \quad b=0 \qquad (45.8)$$

となる。実際に得られた頻度分布を，対数尺でプロットし，その点に何等かの方法でいくつもの抛物線をあてはめ，かつ抛物線の合成されたものが観測された頻度分布にできるだけ近くなるようにすれば，個々の群についてのパラメタ（平均，分散及び群の組成）を推定することができる。

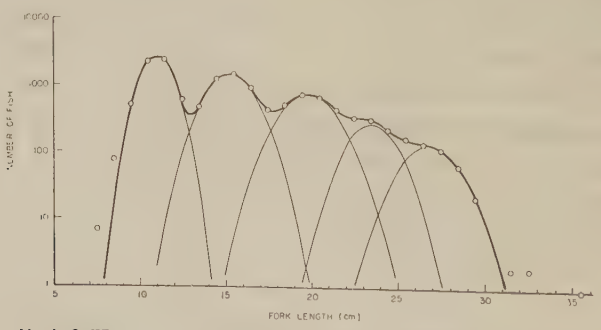
抛物線のあてはめを図式に行なうには，簡単な準備が必要である。透明な紙の上に，σ の値をいろいろと変えた場合の抛物線群をかいておく。この際，N や μ については，この紙を上下，左右に移動させることによつてどのようにでも変化させる事ができるので，必要なパラメタは σ だけである。このような用紙を2枚用意し，これをいろいろと動かし，又適当な σ の値を選んで，二つのモード付近に二つの抛物線をあてはめるわけである。このような操作を繰返しながら，各々の抛物線の合成されたものが，観測頻度分布に最も近くなるようにする。抛物線のあてはめがおわれば，用いた抛物線によつて σ がわかり，抛物線の頂点の位置及び高さによつて，平均及び N の推定値が得られる。

この方法を Rao (1948) のデータに適用して最尤解と比較してみると (Table 4.11)，必ずしも高い一致度は示していないが，これは Rao のデータでは，モードが分離しておらず，混合群そのものが正規分布に近いために，非常に条件がわるかつたためと思われる。このような悪条件にもかかわらず，平均及び標準偏差では，1割以内の一致度が示された。

第 4.11 表 Rao (1948) のデータの分析及び結果の比較

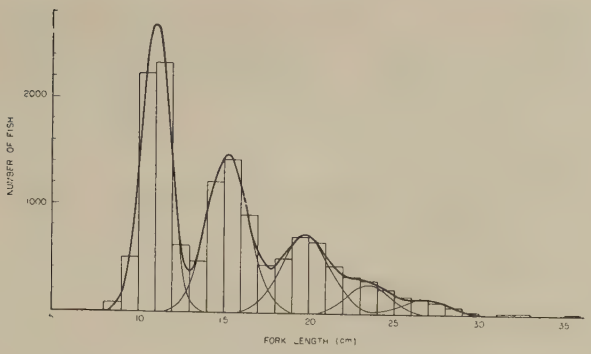
Table 4.11. Results of analysis of Rao's data (1948) by graphical method and comparison with Rao's estimates.

項目 Item / 群別 Group / 方法 Method	平均 Mean		標準偏差 Stand dev.		比率 % Proportion	
	I	II	I	II	I	II
最尤解 (Rao) Max. likelihood	12.65	15.28	1.82	1.82	56.7	43.3
図式法 (著者) Graphical method	12.93	15.33	2.0	1.9	67.1	32.9



第 4.6 図 キダイの体長組成（1950 年 9～11 月）及びあてはめられた抛物線

Fig. 4.6. Length composition of porgy in the East China Sea (Sep.—Nov. 1950) and fitted parabolas to the composition.



第 4.7 図 キダイの体長組成（同上）とあてはめられた正規分布曲線。標本尾数 14,054

Fig. 4.7. Length composition of porgy (the same data as in Fig. 4.6) and normal curves converted from parabolas in Fig. 4.6. Sample size, 14,054.

同様にして，キダイの 1950 年 9～11 月の体長組成（西海区水研，1951b）に適用し，Fig. 4.6, Fig. 4.7 に示すような結果を得た。これを Cassie の確率紙による方法，及び Buchanun-Wollaston (1927) の用いた最少自乗法による抛物線のあてはめ法によつて求めた結果と比較すると，Table 4.12 のようになる。三者の一致度は満足すべきものと考えられ，特に平均値について高い一致度が示された。

第 4.12 表 種々の方法によるキダイ体長組成分析結果の比較

Table 4.12. Results of analysis by three methods for porgy length composition.

項目 Item	年令 Age / 方法 Method	I	II	III	IV	V
平均 Mean (cm)	A	10.99	15.26	19.84	23.50	26.82
	B	11.02	15.33	19.85	23.46	26.92
	C	11.05	15.32	19.85	23.58	26.82
標準偏差 Stand dev. (cm)	A	0.8	1.2	1.4	1.2	1.4
	B	0.76	1.15	1.32	1.29	1.54
	C	0.844	1.161	1.412	1.212	1.443
組成 Composition (尾数) (Number)	A	5,627	4,485	2,630	840	461
	B	5,664	4,427	2,502	970	429
	C	5,782	4,415	2,640	911	449

A：著者の図式法
A：the author's graphical method.
B：Cassie の確率紙法
B：Cassie's probability paper method.
C：Buchanan-Wollaston の最少自乗法
C：least squares method.

4.6 資源量の推定

資源量の推定法には，無数の方法が提案されている（吉原，1955 参照）。これ等を大きくわけると，a) 標識放流による方法，b) 努力量と漁獲量や死亡係数との関連を利用する方法，c) その他，直接観測法の三つにわけることができよう。a) については，多くの方法や実験例があるが，たとえば Schnabel (1938) 法，Petersen 法 (Ricker, 1958b) などが広く知られている。b) については DeLury (1947, 1951) の方

法が有名であり，又 Sillıman (1943a) や Widrig (1954) の方法も広く応用されている。c) としては，Neymann (1949) の sardine の例，日本のマイワシの産卵調査の例（東海区水研，1957），クジラの例 (Mackintosh and Brown, 1956) などがある。ここでは，若干の具体例について，資源量推定の試みを述べることにする。

4.6.1 標 識 放 流

標識放流は，非常に有用な方法として，水産資源の研究に広く用いられている。しかし，その目的が，多くの場合，回遊路の推定であつて，資源量推定のためには，必ずしも充分に活用されているとはいえない。* それは，標識放流によつて資源量を推定する上に仮定されているいろいろの条件が，実際にはみたされていないか，或は，みたされているかどうかをたしかめる方法がないからである。たとえば，標識の脱落，標識をつけたことによる死亡，標識魚と非標識魚との混合，漁獲されやすさのちがい，漁獲標識魚の発見率，報告率，などはすべて推定の上に大きな影響をもつている。

ところで，たとえばクジラ類等（田中，1956c）では，上にのべた諸条件は，ある程度満足されているかもしれない。たとえば，標識の仕方がかなりランダムであり，そのため，混合の程度はだいたい充分であろう。標識の発見率も1に近いことが期待され，報告率は実際上1とみてよい。標識をつけたことによる死亡も，弱い魚にくらべてはるかに小さいであろう。しかし，たとえば北洋で行なわれているクジラの標識は，漁期中引続いて行われるため，Petersen 法の場合とは異なつており，又漁獲によつて資源の間引が行なわれているという点で，Schnabel の型とも一致しない。個々の標識試験では，対象資源及び漁業型態に応じて，独自の方法がとられるのが普通であるから，個々の標識試験について，それに合せて，個々の推定方法を考えなければならない。

クジラ類の標識試験の場合に，次のようなモデルを考える（田中，1956c）。漁期初めの資源量を N_0 とし，U_0 がすでに標識をつけているものとする。漁期を 1, 2, ……, T と T 個の区間にわけ，各回の漁獲尾数を C_t，その中での標識をもつたものの数を n_t とあらわす。又各回の漁獲のおわつた後で，ν_t 尾に新たに標識をつける。** このようにすると，t 回目の試験直前の資源量は，漁場への出入や自然死亡がないものとして，

$$N_{t-1}=N_0-\sum_{j=1}^{t-1}C_j \tag{46.1}$$

又 N_{t-1} 中での標識個体数は

$$U_{t-1}=U_0+\sum_{j=1}^{t-1}(\nu_j-n_j) \tag{46.2}$$

となる。

N_{t-1} が n_t, U_{t-1} にくらべて非常に大きく，又漁獲がランダムに行なわれているものと仮定すると，n_t の分布は，だいたい Poisson 分布となるので，再捕記録 n_1, n_2, ……, n_T が得られた時の尤度函数は，

$$e^L=\prod_{t=1}^{T}\exp\left\{-\frac{n_tU_{t-1}}{N_{t-1}}\right\}\left(\frac{C_tU_{t-1}}{N_{t-1}}\right)^{n_t}\Big/n_t! \tag{46.3}$$

となる。$\partial L/\partial N_0=0$ とおくと，

$$\sum_{t=1}^{T}\left\{\frac{C_tU_{t-1}}{N_{t-1}^2}-n_t\frac{C_tU_{t-1}}{N_{t-1}}\right\}=0$$

---

* 魚以外の陸上動物，たとえばネズミの固体群の推定にはよく用いられ，かなりの成果をあげている（太田，1954）。魚の場合では，Ketchen (1953) の lemon sole についての実験はすぐれたものであるが，これは特に条件にめぐまれた結果であるともいえる。

** この場合，ν_t 中には，すでに標識をもつているものが含まれているかもしれない。これを無視すると，その分だけ標識数を実際より大きく見積らせる結果となる。しかし，普通に行なわれる状況のもとでは，これを0とおいても，大きな間違いはないであろう。

これから

$$\sum_{t=1}^{T}\frac{C_tU_{t-1}}{N_{t-1}^2}=\sum_{t=1}^{T}\frac{n_t}{N_{t-1}} \tag{46.4}$$

を得る。この式を解いて N_0 を求めれば，それが N_0 の最尤解である。しかし，そのまま解くことは困難なので，DeLury (1951) のように逐次近似法を利用する。(46.4) 式を多少かきなおすと，

$$N_0=\sum C_tU_{t-1}\Big(\frac{N_0}{N_{t-1}}\Big)^2\Big/\sum n_t\Big(\frac{N_0}{N_{t-1}}\Big) \tag{46.5}$$

となる。$N_0/N_{t-1}=W_t$ とおくと，

$$N_0=\sum C_tU_{t-1}W_t^2/\sum n_tW_t \tag{46.6}$$

となるが，ここで W_t は仮定により1に近い値であるから，第1近似として，$W_t^{(1)}=1$ とおくと，

$$N_0^{(1)}=\sum C_tU_{t-1}/\sum n_t \tag{46.7}$$

となる。$N_0^{(1)}$ は N_0 に近い値になつているであろう。この $N_0^{(1)}$ を W_t に代入すると $W_0^{(2)}$ が得られ，さらに $N_0^{(2)}$ が得られる。このように

$$N_0^{(i+1)}=\sum C_tU_{t-1}(W_t^{(i+1)})^2/\sum n_tW_t^{(i+1)} \tag{46.8}$$

$$W_t^{(i+1)}=N_0^{(i)}/N_{t-1}^{(i)} \tag{46.9}$$

として，$N_0^{(i)}=N_0^{(i+1)}$ となるまで計算を続ければ，その時の $N_0^{(i)}$ は (46.4) 式の解であり，N_0 の最尤推定値である。

もし U_{t-1} が N_{t-1} に比較してかなり大きい時には，Poisson 分布よりも二項分布の方がより適当であろう。その時の (46.6) 式に対応する式は，

$$N_0=\sum(C_t-n_t)\,U_{t-1}\frac{N_0^2}{N_{t-1}(N_{t-1}-U_{t-1})}\Big/\sum n_t\frac{N_0}{N_t-1} \tag{46.10}$$

となり，第1近似は

$$N_0^{(1)}=\sum(C_t-n_t)\,U_{t-1}/\sum n_t \tag{46.11}$$

である。

N_0 の最尤解の精度を計算することは困難であるが，近似値を求めることはできる。その際 N_0 としてではなく，漁獲率 $f=\sum C_t/N_0$ を考えた方が簡単である。(46.6) 式で両辺の逆数をとると，

$$\frac{1}{N_0}=\frac{\sum n_tW_t}{\sum C_tU_{t-1}W_t^2}$$

となる。ここで W_t は勿論確率変数であるが，f が1より非常に小さい時には，N_0 の誤差によつておこる W_t の誤差は，n_t の変動にくらべて充分に小さいので，W_t を確定数と考えても大きな誤りはないであろう。このようにすると，推定値の期待値や分散は容易に求められ，期待値については，

$$E\Big(\frac{\sum n_tW_t}{\sum C_tU_{t-1}W_t}\Big)=\frac{\sum C_tU_{t-1}W_t^2/N_0}{\sum C_tU_{t-1}W_t^2}=\frac{1}{N_0} \tag{46.12}$$

となるので，逆数として不偏推定値であることがわかる。分散は，

$$V\Big(\frac{\sum n_tW_t}{\sum C_tU_{t-1}W_t}\Big)=\frac{\sum C_tU_{t-1}W_t^3/N_0}{(\sum C_tU_{t-1}W_t^2)^2} \tag{46.13}$$

変動係数で示せば

$$C^2=\frac{V(1/N_0)}{(E_1/N_0)^2}=\frac{\sum C_tU_{t-1}W_t^3}{\sum n_tW_t\cdot\sum C_tU_{t-1}W_t^2} \tag{46.14}$$

となる。W_t が1に近い時には

$$C^2\fallingdotseq 1/\sum n_t \tag{46.15}$$

となる。精度のだいたいの見当をつけるには，再捕数の逆数の平方根をとればよい。たとえば，再捕総数が10尾程度であれば，$C=1/3$ 程度であるが，もし100尾も再捕したとすると，10% の変動係数で推定できることになる。

C の値が得られたならば，$f(1\pm 2C)$ として，近似的に漁獲率 f の 95% の信頼限界が得られる。

Poisson 公布の仮定から導びかれた (46.7), (46.8), (46.9) 式は, N_{t-1} に対して U_{t-1} がかなり大きな時にも, そのまま用いてさしつかえない。この場合には, 実際の分散は, (46.13) で得られる値より小さくなつている。計算を行なうにも, (46.8), (46.9) 式の方が (46.10) 式よりも簡単であり, さらに第1近似でのかたよりも, (46.11) より (46.7) 式の方が小さい。

例 1. モデル的実験

Table 4.13 は, 二項分布を仮定して, 乱数表を用いて行なつたモデル的実験の結果である。表中の $\Delta\nu_t$ とは, 標識のために抽出した ν_t 尾中ですでに標識をつけていたものの数で, 実際には観測されずに二重標識となるものである。したがつて, 正しい U_t は未知で U_t' のみが既知の数値となる。Table 4.13 の数値を用いて, いろいろな場合について計算した結果を Table 4.14 に示す。ここに用いた程度の条件のもとでは, 計算法の差による推定値の差は問題とならない。

第 4.13 表 二項分布を仮定した標識放流のモデル的実験例

Table 4.13. Model experiment of tagging on the basis of binomial distribution.

t	C_t	n_t	ν_t	$\Delta\nu_t$	N_t	U_t	U_t'
0					10,000	100	100
1	100	1	50	2	9,900	147	149
2	100	2	50	2	9,800	193	197
3	100	3	50	3	9,700	237	244
4	100	2	50	1	9,600	284	292
5	100	2	50	0	9,500	332	340
6	100	4	50	1	9,400	377	386
7	100	6	50	4	9,300	417	430
8	100	6	50	2	9,200	459	474
9	100	4	50	0	9,100	505	520
10	100	3	50	5	9,000	547	567

$\Delta\nu_t$: ν_t 中ですでに標識をつけていたもの
$\Delta\nu_t$: double tagging among ν_t.
U_t: 同上を補正した正しい標識魚数
U_t: corrected number of tagged individuals.
U_t': 二重標識 $\Delta\nu_t$ を補正しない値
U_t': without correction of $\Delta\nu_t$.

第 4.14 表 いろいろな方法による資源量推定の計算 (Table 4.13 のデータより)

Table 4.14. Successive approximations and the results of estimation. (From Table 4.13).

N_0	二項分布を仮定して As a binomial population		Poisson 分布を仮定して As a Poisson population	
	U_t より Using U_t	U_t' より Using U_t'	U_t より Using U_t	U_t' より Using U_t'
$N_0^{(1)}$	8,898	9,134	9,245	9,491
$N_0^{(2)}$	10,005	10,258	9,906	10,152
$N_0^{(3)}$	9,865	10,114	9,858	10,106
$N_0^{(4)}$	9,881	10,130	9,861	10,109
$N_0^{(5)}$	9,879	10,128	—	—
$1/N_0$ の変動係数, C.V. of $1/N_0$			0.1745	0.1745
$1/\sqrt{\sum n_t}$			0.1741	0.1741
95% 信頼限界 Confidence interval			15,147～7,310	15,528～7,494

4.6.1.1 北洋のナガスクジラの資源量の推定

北洋のクジラ漁場は，千島カムチャツカ南東沖の東経漁場，及び西経のアリューシャン列島をはさんだ北側と南側の三つに大別される。漁期は5月から9月頃までの夏を中心とした時期である。これ等の漁場におけるナガスクジラの回遊状況については，まだ充分にあきらかでないが，生物学的調査や標識試験の結果からみると，各漁場個有の population があり，比較的長い間漁場内にとどまつているらしい。西経漁場での標識調査は，1954年からはじめられた。標識方法は，捕鯨船とは別の標識専門の船が，漁場附近で，クジラをみつけ次第標識もりを打込むという操作をとつている（伊東・他 1955；川上，1955；日本捕鯨協会，1956）。

以上の点よりして，次の事を仮定する。

a) 漁期中漁場への出入はなく，又自然死亡も無視し得る。

b) 漁獲率，標識率は小さい。二重標識は無視し得る。

c) 捕獲はランダムに行なわれている。

d) b)，c) の結果より，Poisson 分布のモデルがよく適合する。

e) 標識発見率は，実際には1よりいくらか小さいが，簡単のため1とみなす。

これ等の仮定のもとで，北洋漁場中最も再捕数の多かつたアリューシャン北側の漁場について計算した結果を示す。なお，ここに用いたデータは，すべて水産庁の川上武彦技官より提供されたものである。Table 4.15 は1954年のデータである。計算結果を Table 4.16 に示す。

第 4.15 表　北洋におけるナガスクジラ標識試験結果（1954年，アリユウシヤン北側）

Table 4.15. Data from tagging experiment for the fin whale, *Balaenoptera physalus* in the north of the Aleutian Islands in 1954.

期日 Period		C_t	n_t	ν_{t-1}	U_{t-1}'
6月	上旬			1	1
	中旬				
	下旬				
7月	上旬	35	1	32	33
	中旬	31		13	45
	下旬				45
8月	上旬	95		77	122
	中旬			51	173
	下旬	157	1	4	177
9月	上旬	96	2	2	178
	中旬	170	3	29	205
	下旬				202
計 Total		584	7	209	

第 4.16 表　ナガスクジラ資源量推定結果（1954年）

Table 4.16. Estimates for the fin whale population in the region in 1954.

項目	推定値
資源量 Size of population N_0	13,657
漁獲率 Rate of exploitation f	0.0428
漁獲率の変動係数 C.V. of f	0.378
$1/\sqrt{\sum n_t}$ i	0.378
95% 信頼限界 Confidence nterval	
資源量 N_0	7,784～55,830
漁獲率 f	0.0751～0.0105

次に1955年について考える。データを Table 4.17 に示す。この年には，前年標識したもの7頭を再捕しており，前年同漁場で標識したもので，他の漁場で捕獲されたものはない。* ここでさらに次のことを仮定する。

f) 前年放流して再捕されなかつたもの全部が，同じ漁場に回遊して来てその間に死亡，逸散はない。

こうすると，U の値は Table 4.17 のようになり，1955年と同様に計算ができる。結果を Table 4.18 に示す。推定資源量は，1954年の約2倍となつているが，推定値の誤差が大きいので，その差が有意とは考えられない。しかし，仮定 f) を疑う一つの根拠となるであろう。

* その後の調査結果では，少数ではあるが，標識した漁場以外で再捕された記録が報告されており，漁場間の交流のあることが知られた（Kawakami and Ichihara, 1958）。

第 4.17 表 北洋におけるナガスクジラ標識試験結果 (1955年, アリユウシヤン列島北側漁場)

Table 4.17. Data from tagging experiment for the fin whale in the north of the Aleutian Islands in 1955. All tagged individuals surviving at the end of the previous season are assumed to return to the region in the season under study.

期日 Period	C_t	n_t	ν_{t-1}	U_{t-1}'
6月 下旬	2			202
7月 上旬	240	1		202
中旬	215	2	2	203
下旬	260	1	3	204
8月 上旬	59	2	1	204
中旬			3	205
下旬	99			205
9月 上旬	127	2*	4	209
中旬	175	1	20	227
下旬				226
計 Total	1,177	9	33	

* 1955年標識分よりの再捕
* Recapture from those tagged in 1955.

第 4.18 表 ナガスクジラ資源量推定結果 (1955年)

Table 4.18. Estimates for the fin whale population in the region in 1955.

項目	推定値
資源量 N_0 Size of population	27,572
漁獲率 f Rate of exploitation	0.0427
漁獲率の変動係数 C.V. of f	0.333
$1/\sqrt{\sum n_t}$	0.333
95% 信頼限界 Confidence interval	
資源量 N_0	16,543～82,550
漁獲率 f	0.0711～0.0143

第 4.19 表 アリユーシヤン列島北側における捕鯨業での漁獲量と努力量

Table 4.19. Catch and effort data of whaling in the north of the Aleutian Islands.

期日 Period	1954			1955		
	捕獲頭数 Catch	努力量(隻×日) Effort (catcher×day)	努力当 C.P.U.E.	捕獲頭数 Catch	努力量(隻×日) Effort (catcher×day)	努力当 C.P.U.E.
6月 上旬		10	0			
中旬						
下旬				2	4.5	0.4
7月 上旬	35	10	3.5	240	72	3.3
中旬	31	10	3.1	215	90	2.4
下旬				260	99	2.6
8月 上旬	95	25	3.8	59	18	3.3
中旬		5	0			
下旬	157	45	3.5	99	54	1.8
9月 上旬	96	50	1.9	127	72	1.8
中旬	170	60	2.8	175	54	3.2
計 Total	584	215	2.7	1,177	463.5	2.5

Table 4.19 は西経の北側漁場におけるナガスクジラ捕獲数, 努力数, 及び努力当捕獲量である。両年とも漁期を通じての努力当捕獲量は2頭半程度であつて, 1955年に前年よりふえたという様子は全くない。もし標識試験から推定した両年の数値が誤差を含まないものとすると, 推定値が2倍になつていることから, 逆に前年に再捕されなかつた標識クジラの約半分しか, 次の年には同じ漁場に回遊しなかつたことになる。*

* 標識の脱落ということもあるらしい。

もちろんこれは一つの推定にすぎないのであつて，強く主張すべきものではない。

努力量と漁獲量の関係を論ずるのは，次節での主題であるが，ついでにこの面から，Table 4.19 のデータをあつかつてみよう。Table 4.19 の努力当漁獲量と努力数をつかつて，DeLury (1947, 1951) にならつて，資源量，漁獲率を計算すると，両年をこみにして，努力当漁獲量と累積努力とでは，1隻1日当の漁獲率は，$q=0.000507$，資源量は $N_0=6,100$ となり，努力当漁獲量と累積漁獲量の式からは，$q=0.000588$，$N_0=4,813$，その 95% 信頼限界は，1,771～$+\infty$（負の部分をのぞく）となつて極めて広いものとなつている。両方の場合とも回帰は 5% 水準で有意でない。

標識放流のデータから資源量を推定するには，標識発見率を補正しなければならないが，これを約8割とみると，1954年では 6,000～45,000 頭，1955年では 13,000～66,000 頭となる。努力量を用いた計算とも合せて考えて，5千頭から5万頭と考えると，まずあやまりはないであろう。いずれにしても，クジラの場合，漁獲率，再捕率が低いので，よほど多量に標識しないかぎり，資源量推定の精度は，この程度のものにしかなり得ない。

4.6.2 努力量と漁獲量よりの F と M の推定

努力量は間引の強さのある指数であり，一般に努力量と漁獲量とは比例関係にある。だから，漁獲量を努力量で割つたものは，資源の濃密さ，或は大きさのある指数になり得るであろう。実際に，(24.6) 式の関係を用いると，漁期はじめの資源量を N_0 として，漁獲量 C は，

$$C=qXN_0\int_0^1 e^{-Zt}dt=qXN_0\frac{1-e^{-Z}}{Z} \tag{46.16}$$

となる。そして，Z が小さい時には，

$$C\fallingdotseq qXN_0 \tag{46.17}$$

となるから，

$$\frac{C}{X}\fallingdotseq qN_0 \tag{46.18}$$

即ち努力当漁獲量は，資源量に比例することがわかる。

一方間引率が高いと，死亡率も高くなるはずであり，このために，努力量と死亡率とは，何等かの正の関係をもつているであろう。たとえば，上と同様にして，漁期終りの資源量 N_1 をあらわすと，

$$N_1=N_0e^{-(qX+M)} \tag{46.19}$$

となり，努力量を増せば増すほど，残される資源量は少なくなる。生残率の対数をとると，

$$\log\frac{N_1}{N_0}=-(qX+M) \tag{46.20}$$

となり，努力量と直線関係にあることがわかる。

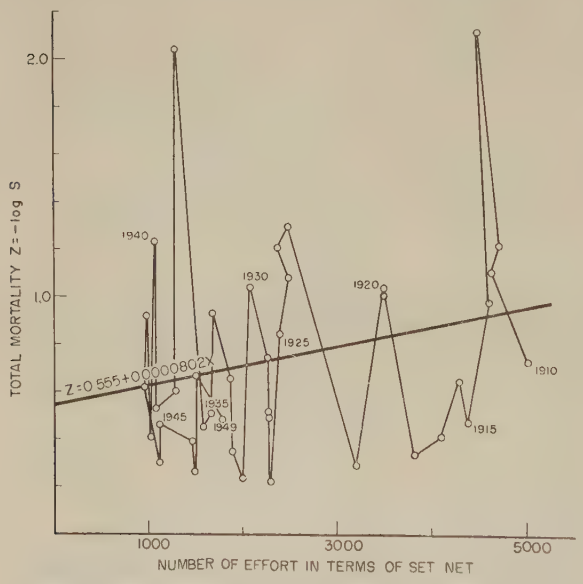
努力当漁獲量を用いて，その時その時の資源量の指数を求め，これの減少の仕方を努力量の累積量と比較すると，単位努力のもつている資源への影響の程度を見積ることができるであろう。この考え方によつて個体群の推定を考えた例として，DeLury (1947, 1951)，Moran (1951)，Chapman (1955) 等がある。

努力当漁獲量からでも，年令組成の解析からでも，何等かの方法によつて二つ以上の期間について生残率を推定することができ，これ等の期間について努力量がわかつておれば，(46.20) 式の関係によつて，q, M の値を推定できる。この考えによつて漁獲係数と自然死亡係数を分離して指定した例に，Silliman (1943a), Widrig (1954)（以上 California sardine），土井 (1955)（瀬戸内海のマダイ）等がある。

Widrig の方法は，年々の生残率 S を求め，これから全減少係数 $Z=-\log S$ を出し，これの努力量への回帰直線をあてはめることによつて，回帰係数として q を，又 $X=0$ の点における Z の推定値として M を推定するという方法である。山中・伊東 (1957) は，この方法によつて大羽マイワシの M を求めているが，観測点の数が少なく，精度は著しく悪い。同様の方法を，北海道のニシン資源に適用した例を次に示そう。

4.6.2.1 北海道春ニシンの自然死亡係数の推定

北海道の春ニシン漁獲物の年令組成は，非常に古くから集められ，1910～1951 年について，石田（1952）によつて示されている。ニシン漁業の漁具数については，川名（1948）が 1870～1946 年について，又石田は 1947～50 年について，建網換算の値を示している。これ等のデータによつて，年々の生残率と漁業の強さを求め，その間の関係を求めれば，死亡係数が推定されるわけである。もつとも，石田は，ニシン漁業の特殊性からして，漁具数は正しく努力量をあらわさないと考えている。石田によつて，経年の漁獲量を支庁別にみてみると，渡島，桧山，根室など，分布の両端部では，漁皆無となり，又後志，石狩等でも減少が著しいが，中心部の留萌，宗谷では，それほど顕著でない。佐藤・田中（1949）も同様のことを述べている。つまりニシン漁獲量の減少は，全体として漁が薄くなるというよりは，地域的に漁獲がなくなり，分布域がせばめられるという型で進行して来たことがみられる。だから，1900年初め以来引続いて起つて来た漁具数の減少は，漁のなくなつた地方での必然的な減少によつて大きく支配されていると思われる。漁具数の減少が全体的におこつたわけではないであろう。もし現在の中心漁場である留萌，宗谷地方で，漁具数は変化してないとすると，4.7.1 で述べるような有効努力としては，昔も今も変化していないかもしれない。もし支庁別に年令別漁獲量と漁具数がわかれば，この点を補正して，より正しく努力量と生残率の関係をみることができよう。



第 4.8 図 北海道春ニシンの努力量と減少係数の関係
Fig. 4.8. Correlation between total mortality coefficient and number of set nets in Hokkaido herring fishery.

残念ながら，この種のデータは手にはいらないので，一応全体を一まとめにして計算することにしよう。方法は次のようにする。3 才，4 才魚は，まだ完全に加入しおわつていないので，5 才魚以上について考える。そして，5 才魚以上及び 6 才魚以上の，毎年の建網 1 統当の漁獲量を求め，ある年の 6 才魚以上の尾数の前年の 5 才魚以上の尾数に対する比をもつて，前年からその年までの生残率 S とみなし，又 $-\log S=Z$ を全減少係数として，前年の漁具数に対比させるわけである。X と Z の関係を図に示すと，Fig. 4.8 となる。点のばらつきが大きく，相関係数は 0.230 で 10% 水準でも有意でない。回帰係数は有意でないが，一応回帰直線を求めてみると，

$$Z=0.555+0.0000802\,X$$

となる。即ち $M=0.555$，$q=0.0000802$ と推定されたわけである。この M の値は，$m=0.423$ に対応する。これ等の値の上下限を求めると（危険率 10% として）$M=0.298$～0.812，即ち $m=0.258$～0.556，又 $q=-0.0000131$～0.0001735 となる。

先にも述べたように，努力量のデータ自身に大きな問題があり，又回帰係数の値が有意でないために，この計算結果はあまり信用がおけない。一般的にいつて，m の値が石田の考えている値（10～15%）より，下限においてすらかなり高くなつている。もし，漁具数の減少にもかかわらず，有効努力の強さが昔と今であまり変化しなかつたものとすると，ここでの q の値は過少であり，したがつて，M の値が過大となつていることになるので，石田の推定を否定する根拠とはならない。Fig. 4.8 で，Z の値の年々の変化が，ある

規則的な上下を繰返しているのがみられるが，このことは年級間での生残率の差によつて引きおこされたものである。Fig. 2.3 でもみられるように，北海道のニシンは，年級によつてかなり生残率が異なつている。ある年級は高い生残率を示すが，他の年級では，数年でその年級魚がみられなくなる。そして，もし生残率の高い優勢年級群があらわれると，ここで用いたような方法で計算された生残率は高くなる。そのような年級がある間隔をおいて出現しており，したがつて，全体としての生残率が周期的に大きく変動（13% から 80% にもわたる）しているのである。最近生残率が高くなつているが，これは 1939 年級の影響である。このような年級による生残率の大きな差がなににによつておこされているのか，よくわからないが，北海道のニシンはそれだけで独立した population ではないと考えられるので，年により，年級により，来遊率が異なつているのではないかとみられる（田内，1942b；1948）。

Widrig の方法は，考え方としてはよいが，これを実際に応用する場合には，このように多くの困難があり，なかなか簡単にはいかないものである点を注意しなければならない（5.3.2.2 も参照のこと）。

4.6.3 直接的観測法

海の中の魚の数を直接数える事など，一見途方もない事のようにみえるが，場合によつては，かなり信頼のおける結果の得られる可能性がある。たとえば，クジラのように大きな動物では，実際に 1 頭 1 頭かぞえることができるし，イワシどなのように群をなして泳いでいる魚は，その群を単位としてかぞえることは，比較的容易であろう。そしてもし，人間の目で群を確認できる距離の限界がはつきりしておれば，船の上から魚群の数をかぞえながら，船を一定の距離だけ走らせたとすると，目視可能距離に移動距離をかけた細長い面積の中に，いくつの群がいたかを知ることができ，したがつて魚群の密度が求められる。これに魚の分布する全域の面積をかければ，全魚群数を知ることができる（Neymann, 1949）。勿論 1 群あたりの尾数がわからなければ，絶対数はわからないが，相対的な指数としては利用できよう。又 1 群当りの平均尾数を推定することは，それほど困難と思われない。同じ方法が南氷洋のクジラについて応用され，その資源量が，255,000 頭より甚しく多いことはなかつた，と推定されている（Mackintosh and Brown, 1956）。

このような直接観測法にも，勿論問題がないわけではない。細長い帯の中の魚群の数から全体を推定するのであるから，その帯は当然ランダムに選ばれたものでなければならない。そのようなことは，実際の作業としては不可能ではないにしても，非常に困難であろう。観測魚群数の少ない時には，統計的誤差の問題もあろう。さらに重要な点としては，目視可能限界の問題である。そもそも，ある距離までの魚群はみおとすことがなく，その距離より先のものは全くみえない，というようなはつきりした限界があるわけではないし，この距離は，個人の熟練の度合，その時の魚群や海の状況によつても著しく異なるであろう。だから，帯の面積を正確に求めることはむずかしい。もし目視可能距離を大きめにとると，資源量を過少推定することになり，逆の場合は過大推定となる。

最近の魚群探知機の発達は，この方法の将来に大きな可能性をひらいたといえる。魚群探知機の場合，観測可能距離は，機械の性能として，比較的はつきりあらわすことができる。魚群の数は，記録紙上でかぞえればよいのであるから，間違いは少ない。ただ今の所，記録紙上の映像からでは，魚種を判定するきめ手がないことが弱点である。横田は，この着想をイワシ魚群調査にとり入れ，数理統計学者の協力を得て，帯のサンプリングの問題もふくめて，研究している（横田・北川・他，1953）。白石（未発表）は，湖のワカサギ資源量の推定に魚探を利用し，かなりよい結果を得ている。野村・他（1956）は，流網による大羽マイワシ漁獲尾数と，記録紙上の点の数を比較し，関連のあることを示している。今の所魚探の機械的性能の点で限界があるが，技術的に克服不可能な問題ではない。もしこの種の調査に水平ソーナー（橋本・他，1956）を活用できるようになれば，大きな進歩が期待されよう。

ある面積を抽出して，その面積内での魚の数を数えるという事であれば，目で数えるのではなく，何等かの方法で実際にサンプリング（漁獲）してもよいであろう。たとえば底曳網で，網口の巾と曳網距離から，帯の面積を求めることは容易である。ただこの場合，その面積中にいた魚の何割が実際に漁獲されたかがわからない。特に，遊泳力の強い魚は，自らの力で網の外に脱出することも考えられるので，網に入る率は簡

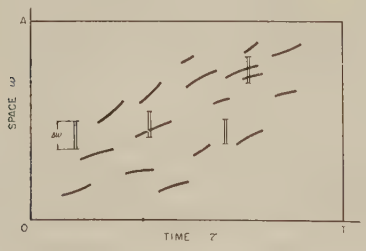
単には求められないであろう。魚が群をなしている時には，この種の考えを適用するのはむずかしい。たとえば旋網でまいた面積は，たとえわかつたとしても，その海域での魚の密度を知る上にはほとんど意味をもたない。

その点でいえば，卵の時代にその数を推定する方がよほど容易であろう。浮遊性の卵であれば，プランクトンネットで容易に採集できるし，ネットの口径とろ水率等から，ネットのこした水の量も見当つく。卵は自力で逃げるようなことはないから，こした水の量で充分よくサンプリングした体積（又は面積）は計算されよう。それに，浮遊物であるから，潮目に集まる傾向があるとはいつても，成魚にくらべれば，よほどランダムに分布しているであろうから，この点でも推定の上に都合がよい。そのような観点から，イワシ資源調査では，イワシ類の産卵調査を重視し，1949年以来，各水産研究所，水産試験場の協力によつて，継続して実施されており（中井・他，1955），マイワシについて，総産卵量を推定し，これと雌1尾当りの産卵数，性比とから，親魚資源量を求める試みがなされている（中井・林，1955；伊東，1955；東海区水研，1957）。

4.6.3.1 産卵総量の推定法，(田中，1955a, b)

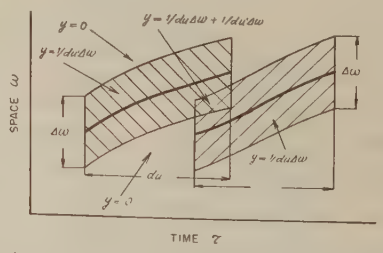
資源量推定を目的とする産卵量の推定であれば，ある瞬間に海中に浮遊している卵の現存量を知るだけでは意味がない。ある産卵期中に生み出された卵の総数でなければならない。現存量にある回転率をかけたものが必要である。そのために，標本調査による単純な引延し推定の場合とことなり，いろいろむずかしい問題がおこつてくる。標本調査の立場からみても，卵の分布は空間と時間を組合せた4次元空間で考えなければならないので，複雑である。しかし，もし観測方法として，プランクトンネットの垂直曳を行なうものとし，* これによつて完全に円柱状の水をこすことができるとすれば，卵の垂直分布は問題でなく，地球の表面を2次元的にみることができる。

図示する都合から空間を1次元であらわし，これを ω とし，又時間を τ であらわして，$\omega-\tau$ 平面上で考えると，卵の分布は Fig. 4.9 のようになるであろう。図中曲つた短い曲線は，卵が $\omega-\tau$ 平面上を動いた軌跡をあらわしている。OA, OT 及びこれ等に平行な直線で囲まれた矩形の部分が，卵の分布している全領域であつて，A 及び T でそれぞれ卵の分布する空間及び時間のひろがりをあらわす。垂直曳によつて円柱状の空間をサンプリングするということを，Fig. 4.9 上で考えると，ろ水面積を $\Delta\omega$ であらわし，又垂直曳を行なうに要する時間が充分に短いとして，τ 軸に垂直で，長さ $\Delta\omega$ なる線分を $\omega-\tau$ 平面上に置くことに相当する。採集される卵数とは，$\omega-\tau$ 平面上で，線分 $\Delta\omega$ が卵の軌跡と交る回数にほかならない。



第 4.9 図 時間，空間 (τ, ω) 中での卵の分布及び垂直曳ネット採集を模式的にあらわした図

Fig. 4.9. Schematic expressions of distribution of eggs in space and time (ω, τ) and vertical hauls of plankton net.



第 4.10 図 (τ, ω) 空間におけるある変数 $y(\tau, \omega)$ の定義。太線は卵の通つた軌跡，Fig. 4.9 参照

Fig. 4.10. Definition of a variable $y(\tau, \omega)$ in (ω, τ) plane. Bold lines are loci of eggs. See also Fig. 4.9.

* 現在水産研究所で，都道府県に委託して全国的に実施しているイワシ資源調査では，一部をのぞき，標準ネットによる垂直曳を行なつている。

$\Delta\omega$ の中心をPであらわすと，$\Delta\omega$ がある卵 u の軌跡と交るには，Pが，卵の軌跡の上下にそれぞれ $\Delta\omega/2$ の巾をつけた帯状の領域内におちればよい。この帯状領域の面積は，卵の存在する時間（産卵されてから孵化又は死ぬまでの時間）を d_u であらわすと，軌跡の形にかかわらず，$d_u\Delta\omega$ となつている（Fig. 4.10）。

ここで，ある変数 $y_u(\omega, \tau)$ を考え，これを次のように定義する。

$$\left.\begin{aligned} y_u(\omega, \tau) &= 1/d_u\Delta\omega \quad (\text{Pが卵 } u \text{ のまわりにつけた帯状領域中にある時}) \\ y_u(\omega, \tau) &= 0 \quad (\text{Pが卵 } u \text{ のまわりにつけた帯状領域中にない時}) \end{aligned}\right\} \tag{46.21}$$

こうすると，y 軸を $\omega-\tau$ 平面に垂直に立てた時，平面 y_u と $\omega-\tau$ 平面で囲まれた部分の体積は，

$$y_u d_u \Delta\omega = \frac{d_u\Delta\omega}{d_u\Delta\omega} = 1 \tag{46.22}$$

となる。したがつて，この体積のすべての卵についての総和は，産卵総量 E にほかならない。つまり，ある点 (ω, τ) におけるすべての卵についての y_u の総和 $(\sum_u y_u)$ を $y(\omega, \tau)$ とすると，$y(\omega, \tau)$ と $\omega-\tau$ 平面でかこまれた部分の体積，即ち $y(\omega, \tau)$ の $\omega-\tau$ 平面上の卵の分布を考えている範囲全体についての積分が E となつている。

以上のように母集団を想定し，$\omega-\tau$ 平面上に L 個の点をばらまいて，その点における y の値を観測すれば，産卵総量の推定値 E' は，

$$E' = \frac{AT}{L}\sum_{r=1}^{L} y_r' \tag{46.23}$$

で与えられる。ここで y_r' は r 回目の観測で得られた y の値であつて，この時 n_r 個の卵が得られ，その個々の卵についての存在時間 d_u がわかつたとすると，

$$y_r' = \sum_{u=1}^{n_r} \frac{1}{d_u\Delta\omega} \tag{46.24}$$

である。したがつて，(46.23) 式は，

$$E' = \frac{AT}{\Delta\omega}\frac{1}{L}\sum_{r=1}^{L}\sum_{u=1}^{n_r}\frac{1}{d_u} \tag{46.25}$$

となる。1回の観測で得られる卵は，だいたい同じ存在時間 d_r をもつているとすると，(46.25) 式は

$$E' = \frac{AT}{\Delta\omega}\frac{1}{L}\sum_{r=1}^{L}\frac{n_r}{d_r} \tag{46.26}$$

と簡単化される。

E' は E の不偏推定である。E' の分散は L 回の観測がお互いに独立であるとすると

$$V(E') = \left(\frac{AT}{\Delta\omega L}\right)^2 \sum_{r=1}^{L} V\left(\frac{n_r}{d_r}\right)$$

ここで，$V(n_r/d_r)$ は，各観測が独立であるから，r に無関係に一定で，しかも n/d の値の母集団全体における分散 σ^2 に等しい。故に

$$V(E') = \left(\frac{AT}{\Delta\omega}\right)^2 \frac{\sigma^2}{L} \tag{46.27}$$

$\omega-\tau$ 平面上に立てられた体積を求めるという考えに立てば，この体積をいくつかに分割して，別々に各部分の体積を求め，その和をとるという方法も可能である。このようにして，E の層別推定法が考えられる。区間 OA, OT をそれぞれ，長さ A_h, T_i $(h=1, 2, \cdots\cdots, R_\omega,\ i=1, 2, \cdots\cdots, R_\tau)$ の区間にわけ，おのおののわけ方にしたがつて，ω 軸，τ 軸に平行な直線で，$\omega-\tau$ 平面を碁盤の目状に分割し，又 $\omega-\tau$ 平面上に立てられた体積 E もこれにしたがつて，それぞれ E_{hi} に分割するものとする。

$$E = \sum_{h}^{R_\omega}\sum_{i}^{R_\tau} E_{hi}$$

であり，各 E_{hi} については，(46.26) 式と全く同様な推定が可能である。各層について，それぞれ L_{hi} 回観測を行なつたとすると，層別推定値は次の式で与えられる。

$$E' = \sum_{h=1}^{R_\omega}\sum_{i=1}^{R_\tau} E_{hi}' = \sum_{h=1}^{R_\omega}\sum_{i=1}^{R_\tau}\frac{A_h T_i}{\Delta\omega}\frac{1}{L_{hi}}\sum_{r=1}^{L_{hi}}\frac{n_r}{d_r} \tag{46.28}$$

同一層内での d_r の変動が少ない時には，

$$d_r=d_{hi}+\Delta_{hir} \tag{46.29}$$

とおいて，

$$\sum_r^{L_{hi}}\frac{n_r}{d_r}=\frac{1}{d_{hi}}\sum_r^{L_{hi}}n_r\left(1-\frac{\Delta_{hir}}{d_{hi}}+O\left(\frac{\Delta_{hir}}{d_{hi}}\right)^2\right) \tag{46.30}$$

とあらわされる。ここで

$$d_{hi}=\sum_r^{L_{hi}}n_rd_r/\sum_r^{L_{hi}}n_r \tag{46.31}$$

とおくと，

$$\sum_r^{L_{hi}}n_i\Delta_{hir}=0$$

となり，又 Δ_{hir}/d_{hi} の2乗以上の項を無視すると，

$$E'\fallingdotseq\sum_{h=1}^{R_\omega}\sum_{i=1}^{R_\tau}\frac{A_hT_i}{d_{hi}\Delta\omega}\frac{1}{L_{hi}}\sum_{r=1}^{L_{hi}}n_r \tag{46.32}$$

を得る。この式は，中井・林 (1955) の用いた式とほぼ同じものである。

層別推定における E' の分散は

$$V(E')=\sum_h^{R_\omega}\sum_i^{R_\tau}V(E_{hi}')=\sum_h^{R_\omega}\sum_i^{R_\tau}\left(\frac{A_hT_i}{\Delta\omega}\right)^2\frac{{\sigma_{hi}}^2}{L_{hi}} \tag{46.33}$$

但し，${\sigma_{hi}}^2$ は hi 層での n/d の分散である。

分散式中の σ^2，或は ${\sigma_{hi}}^2$ は，標本値から推定される。たとえば ${\sigma_{hi}}^2$ の不偏推定値は

$$\begin{aligned}{s_{hi}}^2&=\frac{1}{L_{hi}-1}\sum_{r=1}^{L_{hi}}\left(\frac{n_r}{d_r}-\frac{1}{L_{hi}}\sum_{r=1}^{L_{hi}}\frac{n_r}{d_r}\right)^2\\&=\frac{1}{L_{hi}-1}\left[\sum_{r=1}^{L_{hi}}\left(\frac{n_r}{d_r}\right)^2-\frac{1}{L_{hi}}\left(\sum_{r=1}^{L_{hi}}\frac{n_r}{d_r}\right)^2\right]\end{aligned} \tag{46.34}$$

となる。ここで $1/d_r=1/[d_{hi}(1+\Delta_{hir}/d_{hi})]$ を展開して，Δ_{hi}/d_{hi} の2次以上の項を省略すると，

$${s_{hi}}^2\fallingdotseq\frac{1}{{d_{hi}}^2}\frac{1}{L_{hi}-1}\left(\sum_{r=1}^{L_{hi}}{n_r}^2-\frac{1}{L_{hi}}\left(\sum_{r=1}^{L_{hi}}n_r\right)^2-\frac{2}{d_{hi}}\sum_{r=1}^{L_{hi}}{n_r}^2\Delta_{hir}\right) \tag{46.35}$$

( ) 内の第3項は一般には大きくないであろうから，

$${s_{hi}}^2\fallingdotseq\frac{1}{{d_{hi}}^2}\frac{1}{L_{hi}-1}\left(\sum_{r=1}^{L_{hi}}{n_r}^2-\frac{1}{L_{hi}}\left(\sum_{r=1}^{L_{hi}}n_r\right)^2\right) \tag{46.36}$$

としてもさしつかえなかろう。

4.6.3.2 産卵総量推定上での問題点

i) 産卵調査定線の問題

産卵調査の定線は，普通それまでの経験から，卵が多く分布していると考えられる海域及び時期をねらつて，調査船運航の都合と合せて，適当に引かれる。したがつて，線の引き方，調査実施の日程は，かなり有意的なものである。又観測は数日間にわたつて，次々と場所を移動しつつ続けられるため，一つの点の観測時点と，次の定点における観測時点とは，ω-τ 平面上での独立な二の観測とはみなしがたく，一種の系統抽出となつている。

一方前節で導いた推定法は，観測時点がすべて ω-τ 平面からの独立な random sample であることを前提としている。ω-τ 平面からの独立な random sample が容易に実現できるならば，当然定点，観測日時のえらび方を random になるように，調査を設計すべきである。しかし現実には，船の運航の面から，任意の定点，日時を選ぶということは，おそらく不可能であろう。この推定の立場と実際の立場の矛盾を解決することが，産卵調査方法を改善するための一つの課題である。

もし，卵の分布自身が random である場合（細分された各層の中だけでよい）には，観測時点の決定は，船の運航の面のみで決定することができる。しかし，卵の分布は，今までに得られた資料からも明らかなよ

うに，細分された層内だけで考えても，けつして一様ではない。せまい海域のその又一部に濃密な卵の分布がみられることは，ごく普通のことである。産卵直後と思われる卵は極度に集中分布を示すが，これが時間とともに拡散して，より一様な分布へと変化してゆく。このように，ごく小範囲をとつても不均質な分布をしているので，有意的に決定された観測時点を，random sample とみなし得るという保障は全くない。

現実に実行し得る確率化の範囲内で，確率的抽出法を設計することができるならば，この抽出法に対応した推定法を考案することは可能である。* しかし，実行可能な確率化の範囲は，かなり制限されたものであろうから確率的抽出を行なうには，卵の分布自身のもつている性質を充分に利用することが必要であろう。産卵，卵の分布等に関する生態の調査や研究の重要性もここにある。

Sette and Ahlstrom (1948) は，定点のえらび方による誤差を，interpolation の誤差として論じている。もし定点が random sample であれば，これは標本誤差であつて，その大きさを見積ることができるし，卵の分布の性質がわかれば，この誤差を少くするように計画を設計することもできる。

ii) 卵の存在時間 d_u の推定

採集された個々の卵についての d_u は，産卵総量推定の一番基本の観測値である。d_u の観測誤差は，標本誤差としては見積られないが，結果に大きな影響をもつている。我々は直接個々の d_u を知る事はできないが，周囲の状況から，平均的 d_u を推定することは可能である。d_u は，平均値には，卵の孵化時間，及び途中での減耗の程度に支配される。孵化時間は，温度によつて異なり，水温と孵化時間の関係は，ある魚種については，いくつかの実験や調査によつて知られている。(たとえば，Ahlstrom, 1943; 小林，1944; 伊東，1958)。途中での減耗については，採集卵の段階別の組成から，減耗を推定する試みがなされている (Sette, 1943; 中井・他，1955; Ahlstrom, 1954)

一定の温度 θ にたもたれた卵の孵化時間 b が，$f(b)$ なる分布をするものとし，又途中での減耗係数 M が，発生の段階によらず一定であるとすると，産卵されてからの時間 t とともに，卵の減つてゆく様子は

$$e^{-Mt}\int_t^\infty f(b)\,db$$

で与えられ，平均存在時間は

$$d_{\theta,M}=\int_0^\infty e^{-Mt}\int_t^\infty f(b)\,db\,dt \tag{46.37}$$

又分散は

$$\sigma_d{}^2=2\int_0^\infty te^{-Mt}\int_t^\infty f(b)\,db\,dt-d_{\theta,M}{}^2 \tag{46.38}$$

となる。もし b の分散が 0 の時には，

$$d_{\theta,M}=\int_0^{b_\theta}e^{-Mt}dt=\frac{1}{M}(1-e^{-Mb_\theta}) \tag{46.39}$$

$$\begin{aligned}\sigma_d{}^2&=2\int_0^{b_\theta}te^{-Mt}dt-d_{\theta,M}{}^2\\&=\frac{2}{M^2}\{1-(Mb_\theta+1)e^{-Mb_\theta}\}-d_{\theta,M}{}^2\end{aligned} \tag{46.40}$$

となる。$d_{\theta,M}$ の b_θ に対する比は

$$k=\frac{d_{\theta M}}{b_\theta}=\frac{1}{Mb_\theta}(1-e^{-Mb_\theta}) \tag{46.41}$$

となる。k 及び d の変動係数 C_d は，ともに (Mb_θ) の函数である。Table 4.20 には，いろいろな (Mb_θ) の値に対して，k, C_d を示してある。M, b_θ の値がわかれば，kb_θ として $d_{\theta,M}$ を計算し，これを (46.26) 或は (46.28) 式の d_r に代入すればよい。

---

* 漁獲物全体の中から，標本魚体をいきなり random sampling することはできない。抽出の段階を，船—トロ箱—魚体というようにいくつにもわけて，各段階での抽出法を確率化することによつて，全体としての魚体の確率的抽出が可能になる。そして，このような多段抽出法のための推定法は，容易にもとめられる。ことれ同様なことが，産卵調査についてもいえるはずである。

第 4.20 表 Mb_θ に対して示した k, C_d の値
$k=d_{\theta M}/b_\theta$, C_d : $d_{\theta M}$ の変動係数

Table 4.20. Values of k and C_d for various Mb_θ.
$k=d_{\theta M}/b_\theta$. C_d : coefficient of variation of $d_{\theta M}$.

Mb_θ	$e^{-Mb\theta}$	k	C_d
0.0	1.000	1.000	0.000
0.1	0.905	.952	.183
0.2	.819	.906	.257
0.35	.705	.844	.341
0.5	.607	.787	.407
0.7	.497	.719	.479
0.9	.407	.659	.540
1.2	.301	.582	.618
1.6	.202	.500	.701
2.3	.100	.391	.808

b_θ は水温から推定される。Ahlstrom (1943) は，sardine について，産卵直後の卵のあらわれる時刻から産卵時刻を推定し，その時刻から，孵化直前の卵の得られるまでの時間を，その時の水温に対してプロットして，温度と孵化時間の関係を求めている。伊東 (1958) は，同じ方法をマイワシに適用している。それ等の結果をみると，b_θ の推定は，かなり正確であるように思われる。

減耗の影響について，Sette and Ahlstrom (1948) は，他の要因による誤差にくらべて無視し得るといつているが，これは卵を各段階別に扱つているために，Mb_θ に相当する量が小さくなつたからであろう。すべての卵を用いる場合にも無視し得るとはいえまい。しかも，M を無視することは，産卵量を低く推定させるかたよりをもちこむことになるので，単なる誤差とはいえない。現在までの所，M の値について知られている例はほとんどない。さらに，海区別，時期別，水温別等に正しく M を推定することは，多くの困難をともなうであろう。

iii) 垂直曳の誤差

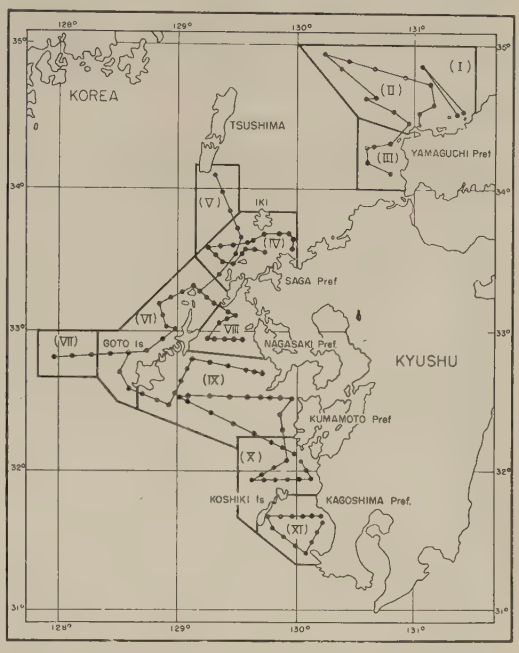
プランクトンネットによる採集の誤差に関しては，Winsor and Walford (1936), Winsor and Clarke (1940) によつて統計的に吟味されている。Silliman (1946), Sette and Ahlstrom (1948) も同様な考えで，sardine の卵について論議している。これ等はいずれも，採集量についての統計的考察であつて，水中における網の物理的性質にはふれていない。

垂直曳の誤差は，網が正しく一定の断面積 $\Delta\omega$ の円柱状の水をこしたかどうかということにかかつている。$\Delta\omega$ は網の口面積よりかなりせまいものであり，又 Winsor and Clarke によれば，必ずしも口面積に比例しない。網の新旧や，曳網速度，その時のプランクトン採集量によつても変化する（伊東・西村，1958；横田，1953)。しかし，一般的にいつて，下層で大きく，表面近くなつて網目がつまるほど小さくなるはずであり，このため卵の垂直分布も関係してくる。$\Delta\omega$ が一定でも，風や海流の影響で網が正しく垂直に引上げられなければ，実際に水中を動いた距離は，ワイヤーの長さより長くなるであろう。Siliman や Sette and Ahlstrom もみとめているが，風車式の水計を用いても，ほとんどこの状態は改善されない。物理的面からの観測器具，技術の改善の要がある。

4.6.3.3 九州西方海域でのマイワシ産卵量

マイワシ産卵量推定の実例を示そう（田中，1955b)。用いた資料は，イワシ資源委託調査によつて得られたもので（日本海区水研，1954；西海区水研，1953a)，年度は 1952 年である。マイワシの主産卵場は，九州北西方及び能登半島近海であるが，ここでは九州北西方のみを考える。県でいえば，山口沖から鹿児島沖までである。

本来層別は，母分散を小さくして，推定の精度を向上させるために行なうのであるが，ここで用いられる資料の場合では，別の意味からも重要である。調査定点は，卵の多いと考えられる海域に多くなるように配置されている。これをそのままこみにして平均すると，著しく過大推定となるおそれがある。点の密な海域と，点の疎な海域とは，別々に推定されねばならない。本来ならば，海域を層別した上で，各層内から定点をランダムに決定するのであるから，海域及び層別は確定したものである。しかし，すでに引かれた定線に対して，これ等の定線が代表するであろうひろがりをきめるということは，むずかしい事である。もし海域を広くとれば，推定値は高くなり，もしあまり厳密に海域を区切ると，データのない部分が大きくなり，推定値は低くなる。以上のようなことを考慮しつつ Fig. 4.11 のような層別を決定した。



第 4.11 図　イワシ類産卵調査定線及び海区層別

Fig. 4.11. Chart showing the regions for stratification and the stations of observation.

各層ごとの面積は，海図上での面積をプラニメーターではかり，さらに緯度による縮尺の差を補正した上で，標準縮尺で引延した。時間軸については，調査が月1回ずつ繰返されているので，月を層別に用い，各層内での時間は日数に応じて求めた。なお，1航海の月の中での引続いた 10 日以内に行なわれているので，時間軸でのばらつきは，かなり集中的であるが，この点は考慮しないことにする。

各点における観測値の中には，マイワシ卵の採集数，及び表面，10 m，25 m 等での水温がある。網をおろす水深は 150 m 又は底であるが，どの層の水温をもつて，その定点の代表水温とするかが問題である。Sette (1943) の太平洋の mackerel, Silliman (1943b) の sardine の例では，いずれも 20 m 以浅で特に多くなつている。村上・早野 (1955) によれば，九州西方のマイワシでは，50 m 以浅に多いようである。ここでは，Ahlstrom (1943) にならつて，10 m 及び 25 m 層の水温の平均を用いることにする。一般に表面から 25 m までの水温の差は小さい。

水温と孵化時間の関係としては，Ahlstrom の与えた直線で，17°C の所で2時間分上方に平行移動させた式，すなわち

$$\log b_\theta = 2.72479 - 0.05860\,\theta$$

を用いた。この式は，村上・早野のデータ，小林の実験結果とはだいたい合つている。最近の伊東 (1958) のデータでは，これより約10時間長くなつている。水温から b_θ を求めるのに，$\bar{\theta} = \sum_r n_r\theta_r / \sum n_r$ として，層内での加重平均水温を求め，これに対応する $b_{\bar{\theta}}$ を得た。

卵の減耗については，明らかでないが，中井等 (1955) のデータによると，孵化までにだいたい半分ぐらいになるようである。この場合の k の値は 0.7 程度となる (Table 4.20)。ろ水面積 $\Delta\omega$ はロ径面積とろ水率から計算される。網の口径は 45 cm であるから，口面積は 1.590×10^{-7} km^2 である。これにろ水率 η を掛けたものが $\Delta\omega$ である。η の値は，曳網の条件によりかなり異なる (伊東・西村，1958) が，一つの例として，元田・安楽 (1958) は 0.6 前後の値を得ている。k や η の値が各階層とも一定であるとすると，これは計算の最後にかかつてくるだけであるから，この値を修正することは容易である。さしあたり $k=1.0$, $\eta=1.0$ として計算してみる。

以上のデータを (46.32), (46.33), (46.36) 式に代入して，産卵総量を計算すると，48.93 兆，その変動係数は 16.9% となつた。もし $k=0.7$, $\eta=0.7$ とおくと，推定値はだいたい 100 兆となる。さらにデータのない福岡県沖 (Fig. 4.11 参照) の分を考えると，この数字よりかなり大きくなるであろう。*

今九州西方での産卵量を 100 兆とし，1 尾の雌の産卵量を 6 万，性比を 1 : 1 とすると，この卵を産んだ親の数は 33 億尾となる。1952 年中の九州西海岸でのマイワシ大羽 (2～7才) の漁獲尾数は 8 億程度である (村上・早野，1955) から，漁獲率は約 1/4 と見積られる。平均生残率を 1/2 とおくと，$Z=0.7$, $F=0.35$, $M=0.35$ となる。

4.7 資源量の相対指数と有効漁獲努力量

4.6 で資源量推定のいろいろな方法について述べた。そのいずれにも多くの問題があつて，ある場合には，ほとんど充分な結果は得られない。充分な予算を投じ，充分な時間をかければ，勿論さらに精度を高めることができるであろうし，技術的に改良の余地も多いであろうから，そのようなことができれば，大変結構ではあるが，必ずしも可能とは限らない。そもそもこの困難は，水産資源の絶対量を知ろうとする所にあるわけであるが，もし相対的にでも年々の変動を知ることができれば，資源の状況を判断し，又将来を予想して資源管理に資することができるであろうし，ひいては資源変動の法則を知る大きな手がかりになるであろう。

相的対資源量の指数としては，古くから，単位努力当漁獲量が用いられている。Russell (1931) は，努力当漁獲量の意義についてくわしく論じ，その中で，これが正しく相対的資源量を与えるためのいくつかの条件の一つとして，漁業によるサンプリングが，全漁場に対して，全漁期を通じて，適当であることをあげている。それよりも前の Baranov (1918) でも，又 Thompson and Bell (1934) 或は Ricker (1940) においても，その理論の中で，漁業が一様に行なわれるか，又は魚群が一様に分布している事を仮定していた。この仮定は，事実に基づいたものとしてではなく，理論を組立てる上の必要性からおかれていたものであつた。

努力当漁獲量によつて，正しく資源量を表現するためには，まず漁獲努力量の表現の改善が考えられる。努力量の単位の改善 (たとえば，航海日数から操業回数へ)，漁船，漁具による能率の差を，標準化によつて補正すること (たとえば，トロール船の，大きさによる換算) 等は，古くから考えられて来た。しかし，これ等と同時に，いかにして Russell の示した条件を満足させるかということが重要な問題である。

木部崎 (1956) は，笠原 (1948) を批判して，努力当漁獲量は，資源に変動のない時でも，単なる主漁場の移動だけで変り得ることを述べている。以西底曳を例にとるならば，開発の初期においては，タイ類等高級なものが特に対象とされていたが，これ等の資源が減少して漁獲が少なくなるにつれて，グチやエソ類などが重要な対象魚種となり，それが漁場の時代的移り変りとして，資料の上にあらわれている。もしタイ類の資源を，漁獲量と努力量との関係で解こうとするならば，漁具の進歩による影響は勿論ながら，あまりねらわれなくなつたことによる実際の漁業の圧力の弱まりについても，補正して考えないかぎり，漁獲量が予想外に減少したことから，高度の乱獲状態とあやまつて判断されることになろう。回遊魚の例で考えても，何等かの理由で，マイワシの来遊が少なかつたとすると，旋網の漁師は，少ないマイワシを追うよりは，まだましなアジやサバを求めて操業するであろう。もし旋網漁業の努力量統計が，目的魚種別にしわけされている (このようなしわけができるかどうかも問題であるが) ならともかく，さもない時には，努力当漁獲量が，マイワシについては過少，アジ，サバについては過大な値を与えることになる。

回遊魚の場合は，地理的分布ばかりでなく，魚群の時間的移動が重要な要素となる。回遊魚では特に，漁期というものがはつきりしているが，これはつまり，1 年を周期としてくりかえされている回遊の中で，ある時期に魚群が漁獲されやすい場所に移動して来ることを意味している。その移動が，ニシンのように，沿岸で産卵するという目的であれば，少なくとも成熟した魚は，どこかの沿岸に接近するであろうが，一般に

---

* 能登半島でもだいたい同程度産卵が行なわれているものとすると，全国で 200 兆以上という数字になる。東海区水研 (1957) は，1949～54 年について 200～400 兆という数字を示している。アメリカの sardine (Ahlstrom, 1954) での例を比較のために示すと，1950 年で 286 兆，1951 年で 611 兆となつている。

は，全魚群が必ず漁場内に入るということはいえないし，又漁期中漁場にとどまつているともいえない。そのような場合には，努力当漁獲量は，ある時期に漁場内にいた現存量の指数は与えても，全資源量の指数としては利用できない。

もし魚群の直接観測法 (4.6.3) が，技術的に充分に進歩した時においてはいざしらず，現在では，我々は漁獲物を通して以外に，海の中の資源について知る手がかりがないのであるから，上に述べたような事柄は，本質的な問題として，極めて重要である。

4.7.1 魚群密度の空間分布の不均一さについて（田中，1957b）

資源（P）があり，これに対して漁業（F）が行なわれて，漁獲物（Y）が我々の手に入る。この関係を，かりに

$$Y=F\cdot P$$

とあらわそう。これ等のうち，漁業，漁獲物については，我々は統計によつて，その詳細を知ることができる。したがつて，上の表現式を

$$P=Y\cdot F^{-1}$$

とかきなおすことができるならば，我々は手元の資料から，資源を計算することができる。しかし，これ等の式を，量の間の関係とみなし得るためには，少なくとも，資源又は漁業が確率的に分布していることが必要である。これはちようど，統計的推定の場合に，標本をして母集団を正しく代表させるためには，確率的に標本を抽出しなければならないことに対応している。

実際の資源や漁業について，確率的分布を期待することはできない。又これを意識的に確率化させる方法もない。そうなれば，比較的確率化をする方法として，層別のみが残された道である（この考えは，4.6.3.3 でもとられている)。そして，時間と空間の二つの元について，次第に層化細分してゆく時には，ある段階で，その一つの層内においては，魚の生態や人間の意志にかかわらず，ほとんど確率的偶然のみが支配しているような状態に達することができるであろう。この段階において，それぞれの層の内部で，量としての資源と漁業と漁獲物の間の関係を考えることができる。

非常に簡単な例を考えてみよう。簡単ではあるが，本質的なものはすべてこの中にふくまれている。ある全体がそれぞれ内部において均質な，a，b　2海区に層化されているものとする。海区の面積を A，a から b への移動を Q であらわし，その他の記号は従来通りのものを用い，さらに，海区別は添字で，両海区共通のもの又は，全海区の計には添字をつけないであらわす。これ等の記号を用いて基本方程式をあらわすと，

$$\left.\begin{aligned}\frac{dN_a}{dt}&=-(F_a+M)N_a-Q\\ \frac{dN_b}{dt}&=-(F_b+M)N_b+Q\end{aligned}\right\}\qquad(47.1)$$

となる。この式で対応する項を加え合せて，全体についての一つの式をつくると，

$$\frac{1}{N}\frac{dN}{dt}=-\frac{1}{N}(F_aN_a+F_bN_b)-M\qquad(47.2)$$

を得る。この式を普通の型の

$$\frac{1}{N}\frac{dN}{dt}=-(F+M)\qquad(47.3)$$

に対応させると，

$$F=F_a\frac{N_a}{N}+F_b\frac{N_b}{N}\qquad(47.4)$$

となる。F は F_a と F_b の加重平均である。ここで

$$F_a=q\frac{X_a}{A_a},\quad F_a=q\frac{X_b}{A_b}\qquad(47.5)$$

とあらわそう。* これを (47.4) 式に代入すると,

$$F=q\left(\frac{X_aN_a}{A_aN}+\frac{X_bN_b}{A_bN}\right)$$

となる。これを (47.5) の形に対比させると, X に相当する量として

$$\tilde{X}=A\left(\frac{X_aN_a}{A_aN}+\frac{X_bN_b}{A_bN}\right) \tag{47.6}$$

を得る。これが, 空間分布が一様でない時に, 魚群に全体として加えられる有効な努力量である。この式中の加重 N_a/N, N_b/N については, 一般に未知であるが,

$$\frac{N_a}{N_b}=\frac{C_a/F_a}{C_b/F_b}=\frac{C_aA_a/X_a}{C_bA_b/X_b} \tag{47.7}$$

とおいて,** (47.6) 式に代入すると,

$$\tilde{X}=A\frac{\frac{X_a}{A_a}\frac{C_aA_a}{X_a}+\frac{X_b}{A_b}\frac{C_bA_b}{X_b}}{\frac{C_aA_a}{X_a}+\frac{C_bA_b}{X_b}}$$

したがつて,

$$\tilde{X}=A\frac{C_a+C_b}{\frac{C_aA_a}{X_a}+\frac{C_bA_b}{X_b}} \tag{47.8}$$

であることがわかる。海区の数が 3 以上の時に,

$$\tilde{X}=A\frac{\sum C_i}{\sum C_iA_i/X_i} \tag{47.9}$$

であることは, 容易に知れる。これは Beverton and Holt (1957) の考えた, effective effort と全く同じものである。

もし海区による層別を考えない時には, X/A が漁業の強さの目安となる。これは,

$$\frac{X}{A}=\frac{X_a+X_b}{A_a+A_b}=\frac{X_a}{A_a}\frac{A_a}{A}+\frac{X_b}{A_b}\frac{A_b}{A}$$

とかけるので

$$\frac{X}{A}-\frac{\tilde{X}}{A}=\frac{X_a}{A_a}\left(\frac{A_a}{A}-\frac{N_a}{N}\right)+\frac{X_b}{A_b}\left(\frac{A_b}{A}-\frac{N_b}{N}\right)=\left(\frac{X_a}{A_a}-\frac{X_b}{A_b}\right)\left(\frac{A_a}{A}-\frac{N_a}{N}\right) \tag{47.10}$$

となる。みかけの漁業の強さが, 有効な漁業の強さに等しくなる条件は,

$$\frac{X_a}{A_a}=\frac{X_b}{A_b} \tag{47.11}$$

即ち, a, b 両海区での漁業の強さが等しい, いいかえると, 漁業が一様に分布していること, 又は,

---

* ある漁具が操作されている時, その漁具が魚群に対して有効に作用し得る範囲というものが考えられる。たとえば底曳網では, 実際の曳網面積に, ある網の効率をかけたものが, 有効作用範囲となるし, 流網の場合, 網が水中にある間における, 魚群と網との相対的動きによつて, ある範囲がきまるであろう。これ等の範囲は, 漁具と対象魚の関係によつて, ある程度固定した値をもつていると考えられる (4.7.1.2 の iii) 参照)。この有効範囲を q であらわすと, 1 回の操業で, ある面積 A の中にランダムに分布している魚の q/A が漁獲されることになる。操業回数が X 回であれば, $\frac{q}{A}X$ となる。従来は, 面積 A について考慮した例はあまりないが, この点は重要である。Gulland (1955) や, Beverton and Holt (1957) が, X/A を漁業の強さ (fishing intensity) とよんでいることは興味深い。

** 漁期が層別されているので, 充分短期であるとして, (46.18) の近似式を適用する。一般に C/X は, その漁場での密度に比例すると考えられる (Gulland, 1955)。しかし, 魚の漁場での分布様式にしたがつて, 個々の操業ごとの漁獲量は変動する。そして, その変動の大きさ (分散) は密度の高いほど大きくなるのが一般である。寺子 (1955) は, 1 曳網当りというような算術平均を用いることに対して, 疑問を述べているが, 算術平均以外の平均の仕方をすると, かたよりがはいるので, 密度推定という立場からは, 分布様式の如何にかかわらず, 算術平均を用いることがよいと考える。

$$\frac{A_a}{A}=\frac{N_a}{N} \quad 或は \quad \frac{N_a}{A_a}=\frac{N_b}{A_b} \tag{47.12}$$

即ち，両海区で魚の密度が等しいこと，つまり魚が一様に分布していることである。Russell (1931) の条件とは，この事にほかならない。

有効努力が得られたならば，全漁獲量をこれで割つて，有効努力当漁獲量を求めることによつて，正しい資源の密度指数を求めることができる。即ち，

$$\frac{C}{\tilde{X}}=\frac{\sum C_i}{A\sum C_i\Big/\sum\frac{C_iA_i}{X_i}}=\frac{1}{A}\sum\frac{C_iA_i}{X_i} \tag{47.13}$$

である。この式の意味を次のように説明することもできる (Gulland, 1955)。努力当漁獲量は，その点における密度を相対的に与えるものであるから，それにその海区の面積をかければ，その海区の魚群量が得られる。これを全海区について加え合せたものが，全資源量の相対指数である。したがつて，これを全面積でわつて，密度指数が得られる。全面積で割る前の，全資源量の相対指数を，資源量指数とよぶことにする。これは即ち，

$$\tilde{N}=\sum\frac{C_iA_i}{X_i} \tag{47.14}$$

である。もし各海区の面積がすべて等しい時には，各海区での努力当漁獲量を単に加え合せるだけで，資源量指数が得られる。

$\tilde{X}$ と X の比も興味ある量である。これは，

$$\varepsilon=\frac{\tilde{X}}{X}=\frac{A\sum C_i}{\sum\frac{C_iA_i}{X_i}}\cdot\frac{1}{\sum X_i}=\frac{C}{X}\Big/\frac{\tilde{N}}{A} \tag{47.15}$$

であるから，単純な努力当漁獲量と密度指数との比であつて，平均として，どの程度，魚群の多い所をねらつて操業しているかの目安を与える。この値が高いほど，同じ単位の努力（たとえば1曳網）の効果が高いことになる。その意味で，ε を努力量の有効度とよぶのがよかろう。ε は又次のようにあらわすこともできる。(47.6) 式を一般の場合であらわすと，

$$\tilde{X}=\sum X_i\frac{N_i}{A_i}\frac{A}{N} \tag{47.16}$$

となり，又 $X=\sum X_i$ であるから

$$\varepsilon-1=\frac{\tilde{X}-X}{X}=\frac{A}{XN}\sum X_i\Big(\frac{N_i}{A_i}-\frac{N}{A}\Big)$$

$$=\frac{A}{XN}\sum A_i\frac{X_i}{A_i}\Big(\frac{N_i}{A_i}-\frac{N}{A}\Big)$$

ここで

$$\sum A_i\frac{X}{A}\Big(\frac{N_i}{A_i}-\frac{N}{A}\Big)=0$$

であることを利用して，

$$\varepsilon-1=\frac{1}{A}\sum A_i\Big(\frac{X_i}{A_i}-\frac{X}{A}\Big)\Big(\frac{N_i}{A_i}-\frac{N}{A}\Big)\Big/\frac{X}{A}\cdot\frac{N}{A} \tag{47.17}$$

或は

$$\varepsilon=1+\frac{\mathrm{Cov}\Big(\frac{X_i}{A_i},\frac{N_i}{A_i}\Big)}{\frac{X}{A}\cdot\frac{N}{A}} \tag{47.18}$$

又，X_i/A_i，N_i/A_i の間の相関係数を ρ とすると

$$\rho=\frac{\mathrm{Cov}\Big(\frac{X_i}{A_i},\frac{N_i}{A_i}\Big)}{\sigma_{\frac{X_i}{A_i}}\cdot\sigma_{\frac{N_i}{A_i}}}$$

であるから

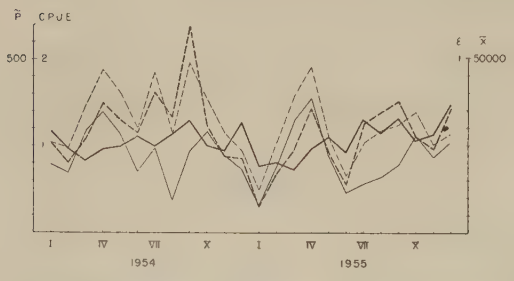
$$\varepsilon=1+\rho\cdot\frac{\sigma_{X_i|A_i}}{X/A}\cdot\frac{\sigma_{Ni|Ai}}{N/A}$$

$$=1+\rho C_{X|A}\cdot C_{N|A}\quad(C_{X|A}\text{ 等は変動係数})\qquad(47.19)$$

となる。つまり，努力量の分布と魚群の分布が完全に独立ならば，ε は 1 となり，$\tilde{X}=X$ となる。これ等の間に正の相関のあるほど ε は大きくなり，又，負の相関のあるほど ε は 1 より小さくなる。

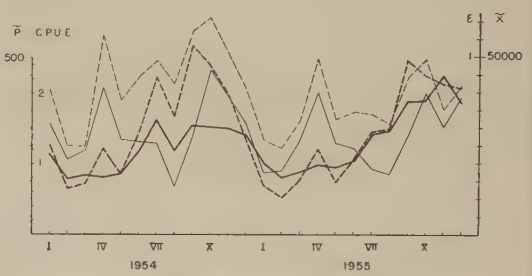
4.7.1.1 以西底曳漁業についての二つの例

以西底曳網漁業では，30′×30′ ますめの農林漁区ごとに，魚種別漁獲量と曳網回数が発表されている。ここで機船底曳網によつて漁獲されたキダイ及びエソ* について，有効努力 $\tilde{X}$，有効度 ε，資源量指数（重量）$\tilde{P}$，1 曳網当漁獲量を求めてみよう。ここでは漁獲統計が重量（正しくは函数）であるので，すべての値は重量について求められたものである。結果は Fig. 4.12, Fig. 4.13 に示す。



第 4.12 図 キダイの有効努力量，資源量指数
—— $\tilde{P}$: 資源量資数，---- C.P.U.E.: 努力当漁獲量
—— $\tilde{X}$: 有効努力量，---- ε: 努力の有効度

Fig. 4.12. Effective effort and population size index for porgy.



第 4.13 図 エソ類の有効努力量，資源量指数
図のあらわし方は Fig. 4.12 に同じ。

Fig. 4.13. Effective effort and population size index for *Saurida* spp.
See Fig 4. 12. for legend.

まずキダイについてみると，主漁場の移動による，努力の有効度の変化が大きいために，1 曳網当漁獲量は年内で月により大きく変動しているが，資源量指数の方は，季節変動が少ない。このことは，この指数が，かなりよく実際の資源量をあらわしている証拠ともいえよう。くわしくみると，両年とも 8, 9 月頃に山がみられるが，これは加入群による影響かもしれない。漁業が全魚群をおおつていないことによつて，資源量指数の変動することも考えられる。キダイの主漁場たる，東海の南東部及び南部での操業の行なわれたますめの数をみると，資源量指数とある程度の関係がありそうである。その外，資源量指数によつても打消すことのできない変動，即ち漁獲能率 q の変化が実際におこつているとも考えられる。底曳漁業では，魚の遊泳水深の変化によつても，q の値の変化がおこる。努力量の有効度が常に 100% より小さいこと，いいかえると，キダイのあまりいない漁区の方がむしろ多く利用されているということは，この魚種が，以西底曳漁業として，あまり主要な対象魚になつていないことを示すものである。

エソの場合でも，有効度の変動は大きく，資源量指数の方がよほどなだらかな季節変動を示すが，キダイの場合にくらべると，かなり変動が大きい。有効度は一般にキダイより高く，しばしば 100% を超えている。

4.7.1.2 資源量指数の正当性についての吟味

i) サンプリングの誤差について

一網の漁獲量の標準偏差は，一般に，平均値に従属的で，むしろ変動係数が一定と考える方がよいようで

---

* 統計上のエソは，真道 (1956) によれば，ワニエソ，トカゲエソ，マエソ（和名は松原，1955 による）の 3 種を含んでいるが，ワニエソが大半である。

ある。そこで，標準偏差は，密度 d に比例するものとして，これを σ_d とおく。すると，$\tilde{P}$ の期待値は，

$$E(\tilde{P})=q\sum A_i d_i=q\sum P_i=qP \tag{47.20}$$

分散は

$$V(\tilde{P})=\sum A_i^2\sigma^2 d_i^2/X_i=\sigma^2\sum A_i^2 d_i^2/X_i=\sigma^2\sum P_i^2/X_i \tag{47.21}$$

変動係数は

$$C^2(\tilde{P})=\frac{V(\tilde{P})}{(E\tilde{P})^2}=\frac{\sigma^2}{q^2}\frac{\sum P_i^2/X_i}{P^2} \tag{47.22}$$

もし，

$$X_i=\bar{X}(1+\Delta X_i)$$

とおき，

$$\sum\frac{P_i^2}{X_i}=\frac{1}{\bar{X}}\sum\frac{P_i^2}{1+\Delta X_i}=\frac{1}{\bar{X}}\sum P_i^2(1-\Delta X_i+\cdots\cdots)$$

とあらわせるものとすると，$\sigma/q=\sigma'$ とかいて，

$$\begin{aligned}C^2(\tilde{P})&=\frac{\sigma'^2}{X}\frac{\sum P_i^2(1-\Delta X_i+\cdots\cdots)}{P^2/A}\\&=\frac{\sigma'^2}{X}\left\{1+A\frac{V(P_i)}{P^2}-A\frac{\sum P_i^2\Delta X_i}{P^2}+\cdots\cdots\right\}\\&=\frac{\sigma'^2}{X}\left\{1+\frac{C^2(P_i)}{A}-\frac{\sum P_i^2\Delta X_i}{A\bar{P}^2}+\cdots\cdots\right\}\end{aligned} \tag{47.23}$$

ここでもし，魚が一様に分布しておれば，$d=P/A$，したがつて，X 回曳網の平均としての1網当の変動係数は，

$$C^2(Y/X)=\frac{(P\sigma/A)^2}{X}\Big/\left(\frac{qP}{A}\right)^2=\frac{\sigma'^2}{X} \tag{47.24}$$

であるから，一般の場合の精度は，この場合にくらべて，ますめの間での資源量の変動が大きいほどわるくなり，又資源量の多いますめで操業回数が多くなる傾向のあるほどよくなる。以西底曳の例では，ますめの数が多く（100 以上），総曳網回数 X も充分に大きいので，例外的な場合をのぞいて，普通の意味でのサンプリングの誤差が全体に大きく影響を与えるとは考えられない。

ii)　ますめ内の均一性

ますめ内での均一性は，全漁場についての場合と同様に，魚が均一に分布しているか，努力が均一に分布している場合，又はお互の分布が完全に独立の時に期待される。以西漁場の中心部では，30′ ますめ内については，このいずれかの条件において，かなり均一性が保障されているのではないかと思われる。同一月内でのますめ間の1網当漁獲量が，隣接ますめ間では，似た値を示すことは，密度の連続性を示すものであり，この面からも，ますめ内での魚の分布の比較的一様さが期待される。

沿岸部，大陸棚周辺部においては，資源密度や，或は水深等の海洋条件の急激な変動がみられ，30′ ますめではなお不充分と考えられる。しかし，ますめを小さくすることは，統計技術上に困難があり，又後述するように，availability の問題がおこつてくる。

iii)　漁具の漁獲能率の不変性

漁獲能率 q が一定であるという条件は，実際問題としては，かなりきつい条件のように思われる。というのは，一般に，同一の漁具で操業しても，魚の密度の変化としては考えられないような1網当漁獲量の変動がみられるからである。

底曳漁業について q の意味を考えると，Widrig (1954) にしたがえば，一回の曳網でおおわれる海底の面積に，その面積内の全魚群のうちのどれだけを漁獲するか，という漁獲の効率をかけたものである。曳網面積はだいたい漁具の機械的特性として決定されるものであるが，効率の方は，この外に，魚の生態，及び形態との交互作用が関係してくる。特に底曳網では，魚の垂直分布が重要な要素となる。

以西の底曳には，オッタートロールと，二そう曳機船底曳の2種の漁獲があるが，この二つを比較することは，q の変異性に関する一つの目安を与える。即ち同一場所，同一時期におけるトロールと底曳の一網当漁獲量の比が，場所や時間によつて変るとすれば，これは，少なくとも一方の漁業の漁獲能率が，場所や時期によつて変化していることを示している。脇山・真道（1953）は，キダイについて，この点を吟味して，同一ますめ，同一月について，年ごとに点をとると，2漁業種間で，かなり高い相関がみられるが，全ますめ，全月について点をとると，ほとんど相関がみられない事を示している。そして，漁法と海底の状況や魚群密度との間の交互作用の存在を考えている。

漁獲能率に影響を与えると思われる要素は，できうるかぎり取りのぞくことが望ましい。Gulland (1956a) は，船の性能をある標準船に換算する方法を示しているし，Silliman and Clark (1945) は，sardine 漁業について，天候，月などの影響をしらべて，これを補正することを試みている。以西の底曳で考えられることは，屯数階級による補正である。これは，ある程度可能である。しかし，それ以上の要素については，人手，予算，技術上の問題もあつて，実行が困難であろう。

漁獲能率の問題で，実際に結果に影響するのは，個々の q ではなく，それ等の全曳網について総合されたものであることを注意すべきである。各ますめの大きさが等しく，その数が A であつたとすると，種々の要因によつて換算された努力量を X'，標準漁具の能率を $\bar{q}$ であらわして，

$$F=\frac{\bar{q}}{A}\tilde{X}', \qquad X'=\frac{AC}{\sum_{A} C_i/X_i} \tag{47.25}$$

となるが，

$$X_i'=\bar{X}'(1+\Delta X_i')$$

とおいて

$$\frac{1}{X_i'}=\frac{1}{\bar{X}'}(1-\Delta X_i'+\cdots\cdots)$$

と展開できるものとすると，

$$\tilde{X}'=\frac{A\bar{X}'C}{C-\sum C_i\Delta X_i'}=\frac{X'}{1-\sum C\Delta X_i'/C} \tag{47.26}$$

ここでもし，$\sum C_i\Delta X_i/C$ は小さいために，努力量の標準化による影響も，1にくらべて充分に小さいものとすると，

$$\frac{\tilde{X}'}{\tilde{X}}=\frac{X'}{X}\frac{1-\sum C_i\Delta X_i/C}{1-\sum C_i\Delta X_i'/C}\fallingdotseq\frac{X'}{X}\equiv k \tag{47.27}$$

したがつて

$$F=\frac{\bar{q}\tilde{X}'}{A}=\frac{\bar{q}k\tilde{X}}{A}=\frac{q'\tilde{X}}{A} \tag{47.28}$$

となり，k が変化しないかぎり，q' も一定となつて，無補正の努力量を用いても，正しい相対的資源量指数を得ることができる。k が一定ということは，個々の操業ごとの能率を q_j であらわすと

$$k=\frac{X'}{X}=\frac{1}{\bar{q}X}\sum_{j}^{X} q_j \tag{47.29}$$

となるので，全曳網についての q_j の平均が変らないということである。そして，個々の q の変化にもかかわらず，1万回以上にも達する総曳網の平均としての q は，それほど大きく変り得ないであろうから，複雑な補正は必ずしも必要ではない。ただし，しばしば問題になるのは，長い期間にわたつての q の傾向的変化である。新らしい高性能の漁具や，魚探の導入，船の大型化，等は，あきらかに，平均としての q に変化を与える。この点を補正するための努力は，たえず払われていなければならない。又船の大きさによつて，漁場の季節移動が異なつているような時には，資源量指数の季節変化がゆがめられよう。漁場と漁期によつて層別して，有効努力というものを考え出したと同様に，漁船の性能による層別は，ぜひやらなければならないことである。

iv) Availability の問題

ここでいう availability とは，漁場内資源量比とでもいうようなものである。たとえば，二つの海区 a, b に，さらに第3の海区 c を加え，ここでは，魚はいるが，漁業は行なわれていないものとする。Availability r は

$$r=\frac{N_a+N_b}{N_a+N_b+N_c} \tag{47.30}$$

と定義される。* r が1でない場合に，(47.14) によつて $\tilde{N}$ を計算すると，

$$\tilde{N}=\frac{C_aA_a}{X_a}+\frac{C_bA_b}{X_b}=q(N_a+N_b)=qrN \tag{47.31}$$

となり，全体の資源量の指数としては，r だけ過少推定になつている。N が変化しなくても，r が変化すると，資源量に変化のあつたように見られる。

以西のキダイの例で，漁場周辺に当る大陸棚の周辺で，しばしば密度が最も高くなつている。したがつて，漁場の外まで，ある程度魚が分布しているのではないかと考えられる。又それほど明瞭なわけではないが，キダイの主漁場たる東海南部及び南東部での操業されたますめの数と，資源量指数の間に平行的な関係があるようである。たとえば，1955年の冬期に，資源量指数が低くなつているが (Fig. 4.12)，南部方面での努力量が，全般的に少なくなつており，そのため，いくつかの海区では操業回数0となつて，歯の抜けたようになつている。このような歯抜けの影響は，漁場層別をあらくするとなくなるが，逆に細かくするほど多くなる。したがつて，漁場の細分化には，限度がある。漁場範囲の中で，歯の抜けたようになつている場合は，まだ周囲の状況から類推することもできるが，漁場範囲外にまで魚が分布している場合には，そのような海域について，調査船によつてデータをおぎなう以外に方法はない。

v) 漁獲の影響の生物学的等価性

もし，どこで漁獲したとしても，1函の漁獲の資源に与える影響が等しいならば，有効努力の考え方は全く正しい。もしある場所での1函が他の場所での1函と異なつた影響をもつていると，有効努力としては等しくても，生物学的にいつて，等価であるとはいえなくなる。

資源全体を一まとめにして論ずる場合に，もしある海区での漁獲物と，他の海区での漁獲物の間で，年令，性別等の組成が異なつていたとすると，明らかに等価性はくずれる。しかし，この影響は，有効努力を年令別，或は性別に考えれば除くことができる。地域的密度の差による影響があると，これをとり除くことは困難である。

年令，性別は，有効努力を考える上において重要であるが，それ以上の複雑な問題については，現段階においては，一応無視するのがよかろう。というのは，この問題が特に重要になるのは，人為的管理によつて，努力量の空間的時間的分布を大きく変化させるような場合に，その効果を正しく予想するための必要からであつて，さもない時には，この点を調査すること自身が困難であるし，又それほどさしせまつた重要事とも考えられない。

4.7.2 時間分布の問題

資源の死亡の方程式

$$\frac{1}{N}\frac{dN}{dt}=-(F+M)$$

で，F, M が時間の函数であるとすると，

$$N_t=N_0\exp\left\{-\int_0^t(F(t)+M(t))\,dt\right\} \tag{47.32}$$

となるが

$$\int_t^{t+1}F(t)\,dt=F_t,\quad \int_t^{t+1}M(t)\,dt=M_t \tag{47.33}$$

* Availability の定義について，くわしくは田中 (1957b) を参照のこと。

とおくと，生残率は

$$S_t=\frac{N_{t+1}}{N_t}=e^{-(F_t+M_t)} \tag{47.34}$$

となり，S_t は F_t，M_t が一定であるかぎり，その時間的配分には無関係に一定である。ところで，$F(t)=qX(t)/A$ とし，q，A が一定だとすると，

$$F_t=\int_t^{t+1}qX(t)/Adt=\frac{q}{A}\int_t^{t+1}X(t)\,dt=\frac{q}{A}X_t \tag{47.35}$$

であるから，年間の生残率は，ついやされた全努力量のみによつて定まり，その季節的変化には影響されない。いいかえると，年間の総有効努力は，層ごと（たとえば月ごと）の有効努力の和としてあらわされる。

漁獲率 C/N_0 については，時間的配分が影響する。たとえば，すべての努力が，期間の最初に集中した時と，最後に集中した時とで，後者の方が前者より，自然死亡の分だけ少なくなる。時間の区切りが短いならば，その間に自然に死ぬものは無視し得るので，そのような区間（たとえば，1日，1週，又は F，M が特に大きい時以外は1月でも）の中における努力の不均一さは，問題とならない。

4.7.3 一部のみが漁獲されている資源

努力量の時間的配分は，すべての資源が常に漁業の対象になつている場合には，あまり問題にならないが，もし availability r が1より小さく，しかもその値が季節的に変化する場合には，重要な影響をもつてくる。基礎方程式は，漁場内資源量を N_a であらわして，

$$\frac{1}{N}\frac{dN}{dt}=-F\frac{N_a}{N}-M=-(rF+M)=-\left(rq\frac{X}{A}+M\right) \tag{47.36}$$

となる。ここでもし r が1より小さくても，漁業とは無関係につねに一定であれば，(rq) が一定となり，$r=1$ の場合と見掛け上は変りがなくなるが，r は一般に，魚群の季節的移動（回遊），及び漁業の間引によつても変化するであろうから，簡単に解くわけにはいかない。しかし，この式の型から明らかなように，r と X との間に正の相関があると，努力量の有効度が高くなる。

Beverton and Gulland (1958) は，魚の移動が，気体の拡散現象と同様のものとみなして，

$$\left.\begin{aligned}\frac{dN_a}{dt}&=-(F+M+\theta_a)N_a+\theta_cN_c\\ \frac{dN_c}{dt}&=-(M+\theta_c)N_c+\theta_aN_a\end{aligned}\right\} \tag{47.37}$$

という方程式を立てている。ここで N_c は available でない資源量，θ_a，θ_c は；拡散の係数である。底魚などで，しかも局地的には，このようなモデルが充分考えられるであろうが，一定のパターンをもつて繰返されている大きな回遊の場合にまで，このモデルが適用できるとは思われない。魚群の動き，海況と漁場形成の関連について，基礎的研究が必要であろう。

Available な資源について考え，漁場外にのがれる量を Q であらわして，

$$\frac{dN_a}{dt}=-(qX_t+M)N_a-Q_t \tag{47.38}$$

とおくと，

$$\frac{1}{N_a}\frac{dN_a}{dt}=-\left(qX_t+M+\frac{Q_t}{N_a}\right)$$

時刻 t における減少係数を D_t であらわして，

$$D_t=\left(M+\frac{Q_t}{N_a}\right)+qX_t=M_t'+qX_t \tag{47.39}$$

とし，又観測された D の X_1 への回帰直線を

$$D_t'=a+bX_t \tag{47.40}$$

とする。もし D_t' が，観測誤差を含まないものとすると，観測数を n として，

$$b=\frac{\sum D_t'X_t-\sum D_t'\cdot\sum X_t/n}{\sum X_t^2-(\sum X_t)^2/n}$$

これに (47.39) 式を代入して,

$$b=\frac{\sum(M_t'+qX_t)X_t-\sum(M_t'+qX_t)\cdot\sum X_t/n}{\sum X_t^2-(\sum X_t)^2/n}$$

$$=q+\frac{\sum M_t'X_t-\sum M_t'\cdot\sum X_t/n}{\sum X_t^2-(\sum X_t)^2/n}$$

さらに, $Q_t/N_a=\theta_t$* とおき, M は一定とすると,

$$b=q+\frac{\sum\theta_tX_t-\sum\theta_t\cdot\sum X_t/n}{\sum X_t^2-(\sum X_t)^2/n}=q+\frac{S_{\theta X}}{S_X{}^2}=q+b_{\theta X} \qquad (47.41)$$

となる。ここで $b_{\theta X}$ は, θ の X への回帰係数である。** 一方

$$\begin{aligned}a&=\sum D_t'/n-b\sum X_t/n\\&=(\sum M_t'/n+q\sum X_t/n)-(q\sum X_t/n+b_{\theta X}\sum X_t/n)\\&=M+\sum\theta_t/n-b_{\theta X}\sum X_t/n=M+\bar{\theta}-b_{\theta X}\bar{X}\end{aligned} \qquad (47.42)$$

(47.41), (47.42) 式によつて, 漁場への出入のある時に, みかけの減少係数によつて推定した, q や M の値のかたよりの程度がわかる。q については, 漁場外へ出て行く率 θ の X への回帰係数だけ, 過大推定となる。M については, 漁場外へ出て行く率の平均 $\bar{\theta}$ だけ過大に, 又回帰係数の過大な分だけ過少に評価されることになる。

---

* Q_t は, 出るものと入るものの差である。出るものについては N_a に比例するとも考えられるが, 入るものは, むしろ N_a とは無関係であろうから, $Q_t/N_a=\theta_t$ は, 一般に常数とは考えられない。もし魚群が, 出るだけで入るものがなければ, 或は θ_t を一定とおいてもよいかもしれない。

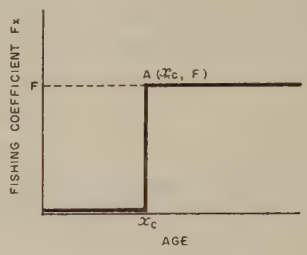
** $b_{\theta X}$ は, X と θ が因果関係にあるということを意味しない。X と θ が独立な場合でも, たまたま $b_{\theta X}$ が 0 でなかつたとすると, その分だけ影響する。又出入の状況や, 努力量の状況は, ある特定のパターンをもつであろうから, 一般に $b_{\theta X}$ はなにがしかの値をもつことになろう。

第 5 章　資源の管理と漁業の規制

5.1　資源管理の原理

資源の管理とは，一口にいえば，資源の特性値——資源量，生残率，年令組成，産卵親魚数等——を人間のこのむ値に管理することである。この管理は，普通漁業を通じて行なわれ*，そのために，漁業が何等かの方法で規制される。資源管理のための漁業規制とは，資源がこのましい特性値を示すように，漁業の諸パラメタを特定の値に規制することである。漁業は二つの特性をもつている。その一つは，漁業の選択性であり，これは，たとえば，年令間における間引の強さを相対的にあらわすものである。今一つの特性は，漁業全体としての間引の強さである。

底曳漁業を例にして考えると，年令別の漁獲係数は，Fig. 5.1 のようになるであろう。ここで選択性は，x_c 未満の魚では $F=0$, x_c 以上の魚では F が一定ということで，パラメタは x_c だけである。漁業の強さは，x_c 以上の魚での漁獲率 F であらわされる。したがつて，漁業の状態は，点 A の座標 (x_c, F) で完全に表現されることになる。一般の漁業では，選択曲線がより複雑であつたり，漁業の強さが季節的に，或は地域的に変動したりして，もつと多くのパラメタが必要であろうが，3.2.3 や 4.7.1, 4.7.2 で論じた事からいつて，基本的には x_c と F であると考えてよいであろう。



第 5.1 図　底曳網のモデル的選択曲線

Fig. 5.1　Knife-edge selection of ideal trawl fishery. Status of a fishery is expressed by two parameters, x_c and F.

今横軸に F の値，縦軸に x_c の値をとり，$F-x_c$ 平面上で，漁獲量の等しくなる点を結ぶと，等量線図が画かれる(3.6.3参照)。この図には，漁獲量の外に，種々の資源の特性値についての等量線図その他を加えることができる。この図は資源管理について考える場合に非常に便利である。Kesteven and Holt(1955) は，漁獲量及び努力当漁獲量が，現在の値と等しい点を結び，これによつて，漁獲量，努力当漁獲量ともに現在より改善される資源の状態の範囲を求めている。ある魚の資源について isopleth diagram が画かれ，その結果，漁業の改善の方向が決定された時，これを実現するための漁業の規制の方法には，多くの型がある。F を減少させるために努力量を制限する方法，x_c を増加させるために網目を大きくする方法は，共に最も直接的な方法であり，しばしば実際に用いられている。今ここでさらにくわしく論ずる必要はなかろう。この外に，しばしば資源保護のために用いられている方法に，禁漁区，禁漁期，禁止漁具等があるが，これ等の意義について，理論的に考えてみよう。

5.1.1　禁漁区の理論

一般に魚は年令によつてすみわけているので，同一漁業のもとでも，有効努力は年令によつて異なる。もし特定の年令の魚を保護しようとすれば，その年令の魚が多く分布している漁区をさけることによつて，他の年令群に対する影響をあまり変えることなしに，その年令に対してだけ，有効努力をある程度減ずることができる。又ある時期に，魚群が特定の小海域に特に濃密にむらがるような時に，もし漁業もその小海域に集中するならば，同じ操業回数でも，漁業の強さ (X/A) が著しく高くなつて，魚群に対して極めて重大な影響を与える可能性があるので，そのような海域には，あまり船が集中しないようにする必要がある。これ等の事から，制限海区の概念がひき出される。

第 2 章でも述べたように，一般にあまり小型の魚を漁獲することは，総漁獲量をあげるためには不利である。そうすれば，小型魚の多い海域を区切つて，その中での漁獲を制限するか，又は全く禁止することが望

* 漁業以外の方法によつて，資源や資源の増殖を管理するようになつた場合，これは増殖の名で呼ばれている。

ましいことである。たとえば，沿岸部に若年群が密集しておれば，沿岸のある範囲を禁漁区とすることが考えられる。そして，どこまでを禁漁区にするかは，最適な x_c と，年令別の魚の分布との関連において計算される。

河川において，ダムの附近が禁漁区になつていることが多い。それは，河下からのぼつて来たアユ等が，ダムにさえぎられて，その下にたまり，又魚道をのぼる時は極めて漁獲されやすい状態にあるので，ここで漁獲をゆるせば，少数の人間によつて，ほとんどの魚がとりつくされてしまうからである。これと同様に，産卵等のために，小海域にむらがる魚を，手あたりしだいに漁獲することが，資源にとつて非常に危険である時には，その漁区を禁漁区とすべきであろう。そしてこの場合，禁漁区の必要性，又もし必要ならばその広さは，魚の分布についてのデータによつて有効努力を計算し，等量線上でその利益を論ずることによつて決定される。

とにかく禁漁区をもうけることは，availability を引下げる効果があり，したがつて(47.36)式からもわかるように，一定の努力での漁業の影響を引下げる効果はあるが，もし漁業者が，そのことによる損失（この損失は一時的なものにすぎないのであるが）をおぎなうために，禁漁区以外での努力を強化するようなことがあれば，全く意味がなくなる。

5.1.2 禁漁期の理論

空間のかわりに時間をとると，禁漁区の理論が，そのまま禁漁期の理論となる。魚が濃密になる時期に，無制限の漁業の拡大をある程度おさえることが必要となるのである。これによつて，有効努力が極端に高くなるのをふせぐことができる。従来しばしば，禁漁期が漁業のひまな時期にもうけられているという批判をきくが，これは必ずしもあたらない。漁業が節度をまもつて行なわれ，年間の総計として，有利な限界にとどまるならば，あまり漁のない時期はむしろ休んでしまつた方が，経営的に有利なこともあろう。ただ，同じ効果をあげるには，当然より長い期間を要する。

アユ，ワカサギ，或はある海域におけるカタクチイワシ等では，禁漁期の意義を，選択性の面から考えることもできる。即ち，春先にうまれた仔が，次第に成長して，一方では自然に減耗してゆく。それで，どのくらいまで成長した所で漁獲を開始するのがよいかを，網目の問題と全く同様に考えることができる。

多くの年級群の含まれている魚，たとえばニシンなどでも，沿岸に来遊する時期が，若年群と高年群とでずれている場合には，禁漁期をもうけることによつて，年令別の選択が，ある程度可能となろう。

禁漁期は，南氷洋のクジラや，北東太平洋の halibut 漁業では，全体的に漁業の強さをひきさげるために用いられている。ただしこれ等はいずれも，割当漁獲量がきまつていて，この量に達した時に，すべての漁業が禁止される。さもないと，漁船の能率向上によつて，短期間であつても，充分に強い漁獲を加えることが可能であるので，目的は充分に達せられない*。

5.1.3 禁止漁具

ある漁具を禁止する際の根拠は，特殊な作用を資源に与えるために禁止される場合は別にして，やはり漁業の強さと選択性の両面から考えることができる。能率のよい漁具は，漁業の強さをあげすぎて，不利となることがあるので，しばしば禁止される。しかし，これは経済的理由からであつて，生物学的には，いかに能率のよい漁具であつても，その漁具の使用回数をへらすことによつて，適当な状態に管理できるならば，けつして有害漁具とはいえない。選択性の面からみると，小型魚を特に多くとるような漁具は，等量線図から判断して有害とわかれば，排除されなければならない。網目の制限は，この最も手近な例である。

5.2 マイワシ資源利用の合理化について

5.2.1 マイワシ資源についての問題点

戦後次第に回復しつつあるようにみえたマイワシ漁業は，1953年頃から再び下りぎみの傾向を示し，漁獲

* Halibut の例では，総漁獲量が若干増加しているにもかかわらず，1930年初め頃の 250 日にわたる漁期が最近では，南部漁区で 1 カ月たらず，西部漁場でも 3 カ月たらずと，極端に短かくなつている（長崎，1957）。

第 5.1 表 マイワシの年令別漁獲尾数 (10^6 尾)（中井他，1955；村上他，1955；横田他，1956；山中他，1957）

Table 5.1. Number of sardine catch by age (in millions of fish).

年 Year ＼ 年級 Year class	1955	1954	1953	1952	1951	1950	1949	1948	1947	1946	1945	1944	1943	不明 Indistinct	合計 Total	一才以上 Over 0-age	同 %	二才以上 Over 1-age	同 %	一才以上の生残率 Survival rate of older than 1-age fish
1949						12	34,259	1,117	292	203	74	8			35,965	1,694	4.7	577	1.6	0.58
50					357	29,191	889	314	186	114	32	1	1		31,085	1,537	4.9	648	2.1	0.82
51					35,671	1,068	435	297	94	77	51	9	3	1	37,706	2,035	5.3	967	2.6	0.79
52				18,510	1,359	649	598	129	20	14	4				21,283	2,773	13.0	1,414	6.6	0.45
53			25,443	765	630	318	281	41	3	0					27,481	2,038	7.4	1,273	4.6	0.34
54		14,839	997	740	315	80	38	3	1						17,013	2,174	12.8	1,177	6.9	0.27
55	15,382	497	532	233	63	18	5	0							16,730	1,348	8.1	851	5.1	—

第 5.2 表 マイワシの年令別漁獲重量 (10^3 貫)（資料は Table 5.1 に同じ）

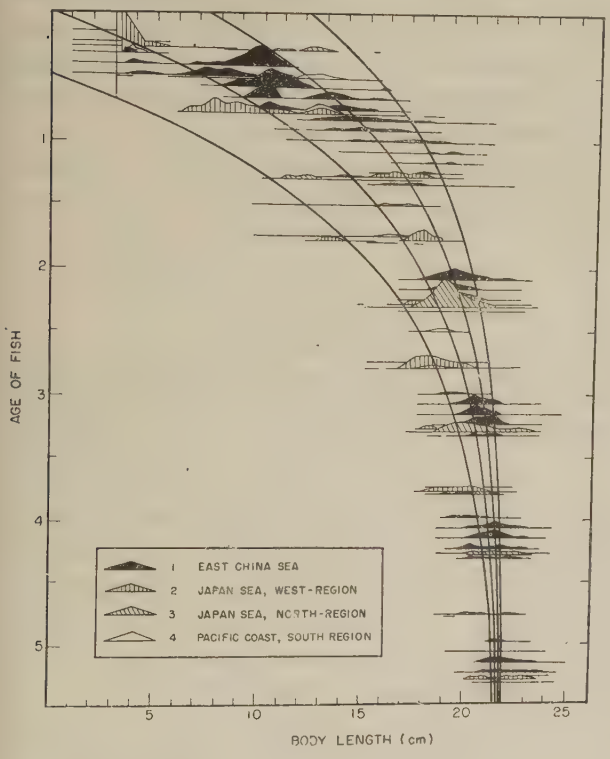
Table 5.2. Sardine catch in weight by age (in thousand kwans or 3.75 tons).

年 Year ＼ 年級 Year class	1955	1954	1953	1952	1951	1950	1949	1948	1947	1946	1945	1944	1943	不明 Indistinct	合計 Total	一才以上 Over 0-age	同 %	二才以上 Over 1-age	同 %
1949						0	45,855	10,376	6,881	6,526	2,558	321			72,517	26,662	36.8	16,286	22.4
50					2	43,860	7,008	6,875	5,684	4,054	1,343	37	34		68,897	25,035	36.3	18,027	26.2
51					68,284	10,636	9,902	8,773	3,117	2,658	1,778	310	106	49	105,613	37,329	35.3	26,693	25.3
52				32,781	13,032	12,770	16,205	3,910	618	541	140				79,997	47,216	59.0	34,184	42.7
53			53,853	11,072	14,029	8,593	7,084	1,315	142	38					96,126	42,273	44.0	31,201	32.5
54		32,410	8,638	14,660	8,609	2,484	1,815	216	281						69,113	36,703	53.1	28,065	40.6

量は著しく減少し，1955 年以来 5,000 万貫前後上下している。資源調査によつて得られた年令組成からみると，当才魚において漁獲の減少が著しく，大羽イワシではそれほど顕著ではない。当才魚の減少の理由については，資源量そのものの減少，及び漁獲率の減少（availability の減少，或は漁獲努力量の減少による）の二つが考えられているが，たしかなことはわからない。資源量の減少とした場合にも，これが自然要因によるのか漁獲によるのかについては，一致した見解はない（農林水産技術会議，1957 参照のこと）。

ともあれ，資源調査の結果，Table 5.1 及び Table 5.2 に示すように，漁獲物中の当才魚の割合が尾数では 90% 以上，重量でも 50% 以上に達していることはあきらかなことであり，これが，マイワシ資源利用の方法として適当なものであるかどうかを吟味することは，重要なことである。当才魚の漁獲が大羽マイワシの資源に悪い影響を与え，又ひいては，マイワシ資源の再生産にも作用を及ぼしているのではないかということは，だれでもがもつ疑いであろう。

資源利用の合理化を考えるには，いろいろな漁業の状態に対して，漁獲量について isopleth diagram を画けばよいわけであるが，そのためには，(25.31) 式中の各パラメタを知る必要がある。即ち，成長曲線，漁獲年令範囲，及び自然死亡係数がわかつていなければならない。これ等三種のデータのうち，成長曲線と年令範囲については，従来の体長，年令組成の調査結果から，概略の見当をつけることができる。ところが，自然死亡係数が充分あきらかでないため，その評価の如何によつて，結論もまちまちになつている。たとえば，横田・浅見(1956)は，小中羽の自然死亡は小さいとして，小中羽漁の制限を主張し，山中・伊東(1957)は，当才魚の自然死亡を高く評価して，小中羽漁の大羽漁への影響はないものとみている。



第 5.2 図　1955 年におけるマイワシの海区別，年令別体長組成，及びあてはめられた成長曲線

Fig. 5.2　Body length distributions of sardine by age and by region as of 1955, with BERTALANFFY's growth curves fitted.

このような現状において議論をする一つの方法は，自然死亡について，いろいろな値を仮定し，それぞれについて漁獲係数と漁獲量の関係を求めてみることである。そして，仮定として，考え得る種々の場合を充分に広くとりあげるならば，その中から，マイワシ資源利用の合理化についての一つのヒントが得られるであろう。少なくとも，資源利用の合理化の問題を，自然死亡の大きさの問題にまで整理をし，将来への足がかりを与えることができるであろう。

5.2.2 データ

佐藤(1953)，林(1957)は，マイワシの成長が

$$l=l_\infty(1-e^{-K(x-x_0)}) \qquad (52.1)$$

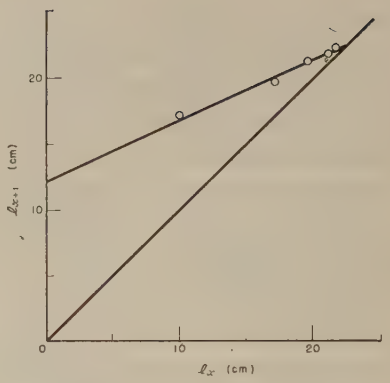
の式であらわされることを述べている。l_∞ と K の値は，WALFORD(1946) の定差図によつて求められる。

マイワシの 1955 年における，日本海，東支那海，太平洋南区方面の，年令別の体長組成を，各海区水産研究所の資料によつて図示すると，Fig. 5.2 となる。ここで，モードの位置を適当にひろつて，それぞれの年の中間附近での体長を，0 才で 10 cm，1 才で 17 cm，2 才で 19.5 cm，3 才で 21 cm，4 才で 21.5 cm，5 才で 22 cm とおき，

定差図をかくと，Fig. 5.3 のようになる。これから，だいたいよくあてはまる値として，$l_\infty=22.0$ cm, $K=0.8$ をえらび，マイワシの成長曲線を

$$l=22.0(1-e^{-0.8x}) \qquad (52.2)$$

とおくことにする。ここでは，x は年，l は cm 単位である。x_0 は簡単のために 0 としてある。この曲線は，Fig. 5.2 の上に重ねて示してある。産卵期の差によると思われるが，実際の体長は，特に若年魚で，かなり巾をもつている。そのために，半年ずつずらせた成長曲線も，同時に示しておいた。図からみると，個々の魚の成長曲線は，生れた時期の差にかかわらず一定であると仮定することは，むりのないことのように思われる。したがつて，個々の魚の満年令は，高令魚をのぞいて，すべて体長で測られるということになる。そして $x_0=0$ とおいたことによつて，年令起算の時を，実際の生れた時でなく，成長曲線を前の方に外挿した時に，体長が 0 となる点にとつたことになる。



第 5.3 図 マイワシ体長の Walford 定差図。$l_\infty=22.0$ cm, $K=0.8$.

Fig. 5.3 Walford's finite differences diagram for sardine body length. $l_\infty=22.0$ cm., $K=0.8$.

以上の仮定にしたがつて，1955 年の全国のマイワシ体長組成を年令組成に変換すると，Fig. 5.4 が得られる。Fig. 5.4 では，横軸を，成長曲線によつて体長から年令に換算するとともに，縦軸については，相対的量の比較ができるようにするため，それぞれの点で，時間間隔の逆数，いいかえるならば，各年令別の成長速度 $e^{-0.8x}$ をかけて補正してある。

第 5.4 図 成長曲線を用いて体長組成から変換したマイワシの年令組成。実線は合計，他は鱗により査定された年令別

Fig. 5.4 Age composition of sardine as of 1955 converted from length composition. Solid line: total frequency. Others: frequencies by age determined by scale reading. Scale at the top of the figure indicates the length corresponding to the age on the abscissa.

図をみると，シラスの時期をすぎると，一旦急激に尾数が減少するが，半年頃（約 6 cm）から上昇をはじめ，9 カ月頃（約 10 cm）に極大を示し，以後多少上下しつつ減少を続ける。そして，満 2 年（約 17.5 cm）になつた頃から再び上昇を示している。これは即ち，マイワシ漁業には，シラスを対象とする漁業，若令魚又は小中羽を対象とする漁業と，高令魚又は大羽を対象とする漁業という三つの段階があることを示している。そして，それぞれが，だいたい 6 カ月まで，6 カ月から 2 年まで，2 年から最高年令（一応 7 年とする）までとわけられる。漁業の実際についてみても，シラスは春期に沿岸で，地曳，舟曳等によつて漁獲され，小中羽は秋に旋網等で，又大羽は，九州方面では冬期旋網で，又日本海方面では流網によつて春に漁獲されている。このように比較的はつきりと，段階別にとりわけられている。したがつて，3.2.1.2 で考えたモデルが適用される。

ここで，シラス漁業の時期は，生態的にも，生理的にも，特殊な状態にあつて，それ以後と同等に扱うことはできないと考えられるので，小中羽以後を対象に考えてみることにする。漁獲係数は，小中羽と大羽で別々に考えることができる。0.5 年で小中羽資源に加入し，さらに満 2 年になつた時に小中羽から大羽に加入するものと

する。そして，小中羽及び大羽の期間中は，それぞれ F_S, F_L で一定の漁獲係数をうけるものとする。

先にも述べたように，マイワシの自然死亡については，よくわかつていない。今までに出された推定値としては，大羽マイワシについて，田内 (1942a) や横田 (1957) は，自然死亡率 $m=0.2\sim0.25$ 程度の数値を与えている。アメリカの sardine では (Clark and Marr, 1955) $m=1/3$ くらいにみている。一方中井の計算（東海区水研，1957）では，$m=0.2\sim0.5$ となつている。山中・伊東 (1957) は，年令組成の解析から，$M=0.3\sim3.5$ という数値を得ているが，変動の巾がひろくて，あまりあてにならない。同じく山中・伊東は，田内(1956)にならつて計算して，$M=0.4$ を得ている。山中・伊東の 3.5 という値をのぞくと，だいたい $m=0.2\sim0.5$ という範囲にあると考えてもよいであろう。

Table 5.1 で，2才魚以上について，年々の生残率（ある年の2才魚以上の漁獲尾数と，翌年の3才魚以上の漁獲尾数の比）を求めると，年によつて差があるが，平均して約 1/2 となる。この値は，漁獲と自然死亡の両方を含んだものであるから，大羽マイワシについては，自然死亡率が 1/2 以下，係数であらわすと，0.7 以下ということがいえよう。

小中羽の自然死亡については，ほとんどデータがない。横田・浅見は，大羽と同じであると仮定している。又横田 (1957) は，シラス，小羽，中羽別に M の値を与え，これが成長とともに減少することをのべている。山中・伊東は，当才魚について $M=2.0$ とおいている。大羽の場合，同一の漁業で混獲されるので，各年令間の相対量は，漁獲物中の比で充分よくあらわされると思われるが，当才魚，1才魚は，大羽とは分離しており，又当才と1才でも別々に漁獲されているので，これ等の間の見かけ上の比が，生残率を示しているとは断言できない。

みかけ上の減少率を計算してみると，1才から2才への減少率は，大羽と大差なく，又当才から1才へのぶどまりは，約 1/30 である。当才から1才へのぶどまりの著しく低いことが特徴である。この理由として，二つのことが考えられる。一つは，当才魚の漁獲率が，1才魚以上に比較して著しく高いことであり，他の一つは，自然死亡率が著しく高いことである。今漁獲率を f, 自然死亡率を m, 漁獲尾数を C, 資源尾数を N であらわし，当才魚を 0，1才魚を 1 の添字で区別すると，

$$\frac{C_1}{C_0}=\frac{f_1N_1}{f_0N_0}=\frac{f_1(1-f_0)\,(1-m_0)\,N_0}{f_0N_0}=\frac{f_1}{f_0}(1-f_0)\,(1-m_0) \tag{52.3}$$

ここで，$f_0=\kappa f_1$ とおくと，

$$\frac{C_1}{C_0}=\frac{1}{\kappa}(1-\kappa f_1)\,(1-m_0) \tag{52.4}$$

となる。ここで $C_1/C_0=0.035$ とし，又かりに $f_1=0.25$ として，m_0 と κ との関係を求めてみると，Table 5.3 のようになる。もし $\kappa=1$ 即ち $f_0=f_1$ だとすると，$m_0=0.95$, $M_0=3.00$ ときわめて高い値になる。又 m_0 が親と大差ないとすると，κ の値が約 3 となり，漁獲係数（或は努力量）の比でいえばさらに高い値と

第 5.3 表　当才魚の死亡係数 M_0 と当才と1才の漁獲率の比 κ の関係

Table 5.3. Natural mortality of 0-age fish, M_0, and ratio of fishing rates between 0- and 1-age fish, κ.

$$\frac{C_1}{C_0}=\frac{1}{\kappa}(1-\kappa f_1)\,(1-m_0),\quad \frac{C_1}{C_0}=0.035,\quad f_1=0.25$$

M_0	m_0	κ	M_0	m_0	κ
0	0	3.51	0.92	0.6	2.96
0.10	0.1	3.46	1.20	0.7	2.73
0.22	0.2	3.40	1.61	0.8	2.35
0.36	0.3	3.33	2.30	0.9	1.54
0.51	0.4	3.24	3.00	0.95	1.05
0.69	0.5	3.12	4.60	0.99	0.67

なる。

小中羽は小さいとはいつても，大部分は 10 cm 程度以上の成魚型であり，物理，化学的環境によつて，それほど高い死亡はうけないであろう。しかし型が小さいということで，食害の影響はより高くうけるはずである。小中羽イワシの漁場は，他のイワシに対する predator と思われる魚種の漁場とも一般にかさなつているから，或は著しく高い食害の影響をうけているかもしれない。少なくとも親魚より自然死亡が低いということはないであろう。

小中羽は，九州西方で旋網で漁獲するのが大部分であるが，これ等の漁業は，冬期には大羽マイワシを漁獲している。だから，大羽と小中羽で，そんなに漁獲率がちがうとは考えにくい。しかし，小中羽漁業が比較的せまい範囲に集中しているのに対して，大羽は九州西岸から日本海全沿岸にわたつて広く漁獲されており，又沖合へのひろがりも大きいであろうから，具体的努力量 X としては同じでも，漁獲の強さ X/A，或は availability の点で，小中羽の方が著しく高くなつているかもしれない。

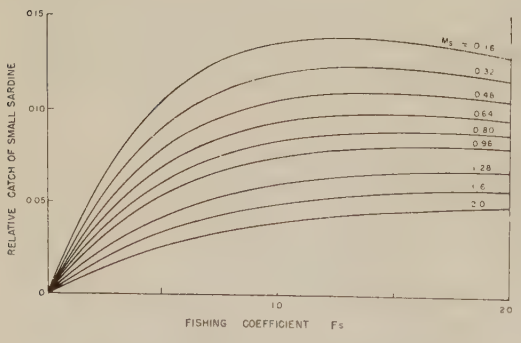
以上の論議から，大羽については $m_L=0.15\sim0.55$，係数で示せば，$M_L=0.16\sim0.8$ とおけば，まずあやまりはなかろう。小中羽については，問題が多いが，大羽より低いことはないとみてよかろう。ところで，ここでいう小中羽とは，満2年までのものであるが，1才魚では，体長も 15 cm 程度になるし，又みかけの生残率でも大羽と大差ないので，自然死亡は当才魚に比較してはるかに低いとみてよい。しかし，小中羽をさらに当才魚と1才魚の二つの部分にわけるのは繁雑であるから，3.2.3 の考え方によつて，平均的自然死亡を考えることにする。漁獲重量を比較すると (Table 5.2)，1才魚は当才魚の 1/4 以下であるから，実際的には，当才魚の加重がずつと高くなり，したがつて，平均の自然死亡もかなり高い可能性がある。これ等のことを考えて，小中羽の自然死亡率を，$m_S=0.15\sim0.80$，係数で示すと，$M_S=0.16\sim1.6$，ただし $m_S\gtrless m_L$，とおいてみることにする。

5.2.3 等漁獲量曲線

年令によつて，異なつた漁業によつて漁獲される場合の漁獲量は，(32.4)式によつて

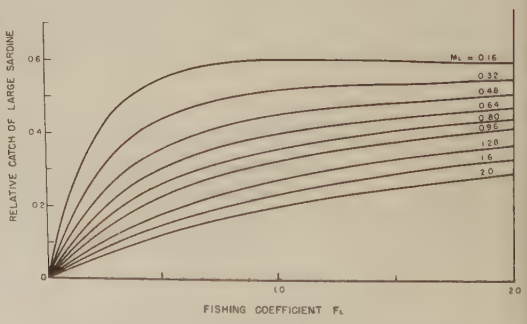
$$\left.\begin{aligned} Y_S&=w_\infty R\,\frac{F_S'}{Z_S'}D(\xi_{cS},\ \xi_{dS}\,;\ Z_S')\\ Y_L&=w_\infty Re^{-z_{s'}(\xi_{dS}-\xi_{cS})}\,\frac{F_L'}{Z_L'}\,D(\xi_{dS},\ \xi_{dL}\,;\ Z_L')\end{aligned}\right\}\qquad(52.5)$$

とあらわされる。ここで，



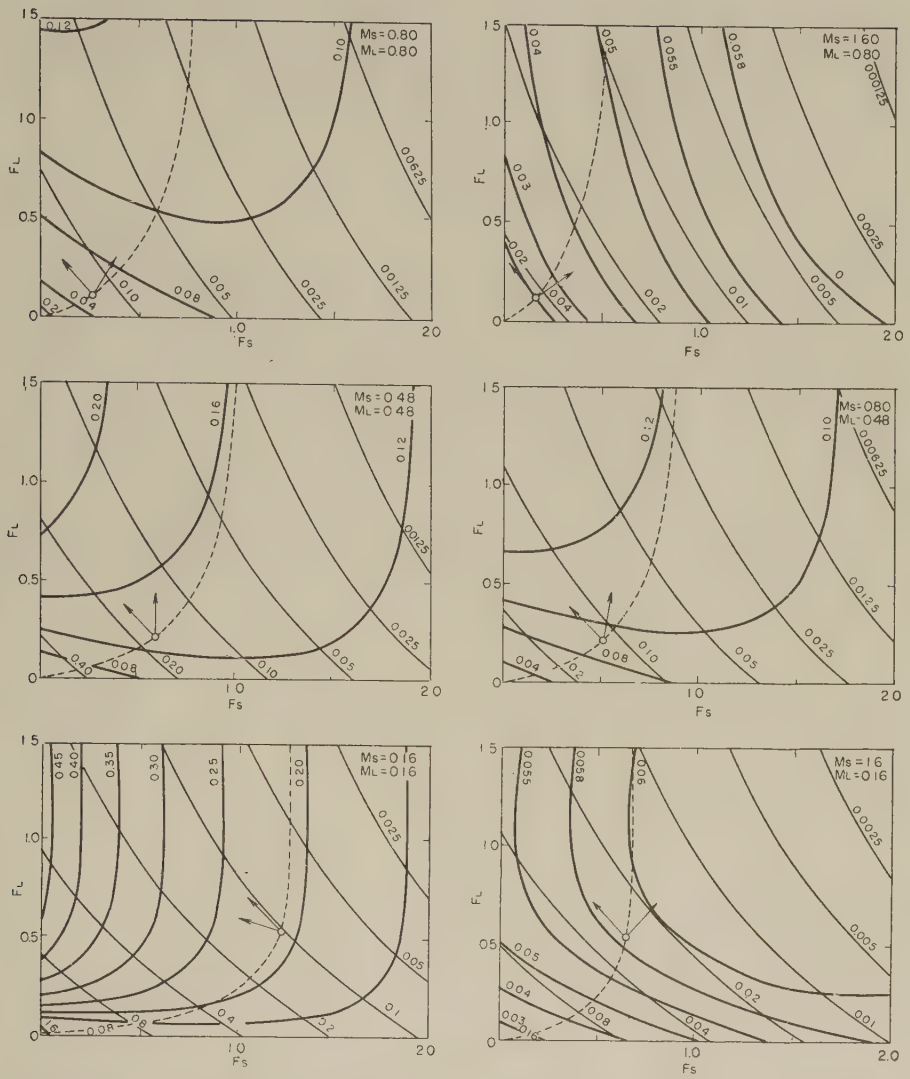
第 5.5 図 いろいろな自然死亡係数 M_S の場合の漁獲係数 F_S と小中羽の漁獲量の関係

Fig. 5.5 Yield of small sardine illustrated against fishing mortality coefficient F_S for various of natural mortality coefficients M_S.



第 5.6 図 いろいろな自然死亡係数 M_L の場合の漁獲係数 F_L と大羽の漁獲量の関係

Fig. 5.6 Yield of large sardine illustrated against fishing mortality coefficient F_L for various values of natural mortality coefficients M_L.



第 5.7 図 小中羽と大羽の漁獲係数 F_S, F_L に対して示した等量線図。太線：漁獲量，細線：大羽資源量。○印は推定された現在点，太い矢印は漁獲量増大の方向，細い矢印は大羽資源量の変化しない方向，等量線につけられた数値はいずれも相対値

Fig. 5.7 Isopleth diagrams of sardine catch and large sardine biomass illustrated against fishing coefficients F_S and F_L. Thick line: contour line of total catch of sardine. Fine line: contour line of large sardine biomass. Small circle roughly indicates the present condition of fisheries. Thick and fine arrows indicate directions of increasing catch and constant large sardine biomass, respectively. All figures on contour lines show the relative values.

$$\left.\begin{aligned}\xi_{cS}&=Kx_{cS}=0.8\times0.5=0.4\\ \xi_{dS}&=Kx_{dS}=0.8\times2=1.6\\ \xi_{dL}&=Kx_{dL}=0.8\times7=5.6\end{aligned}\right\}\qquad(52.6)$$

又 M_S', M_L' の範囲は

$$\left.\begin{aligned}M_S'&=M_S/K=0.16/K\sim1.6/K=0.2\sim2.0\\ M_L'&=M_L/K=0.16/K\sim0.8/K=0.2\sim1.0\end{aligned}\right\}\qquad(52.7)$$

とおく。さらに，大羽は産卵親魚であるとして，その量を考えると，

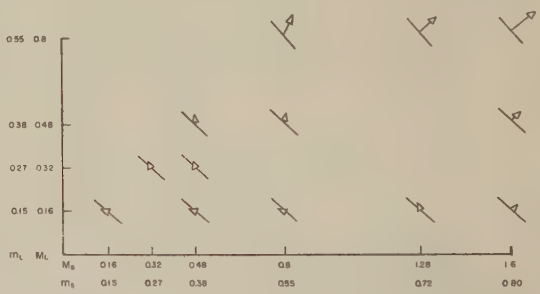
$$P_L=Y_L/F_L$$

となる*。

漁獲係数 F_S, F_L の変化によつて，漁獲量がどのように変るかを，いろいろな自然死亡係数 M_S, M_L について，小中羽，大羽別に示すと，Fig. 5.5, Fig. 5.6 となる。いずれも相対量で示してある。小中羽では $\frac{F_S'}{Z_S'}D$ を F_S に対して，又大羽では $\frac{F_L'}{Z_L'}D$ を F_L' に対して図示してある。小中羽では，一般にある漁獲係数の所で極大があらわれるが，大羽では，成長がわるいために，M_L が 0.48 ($M_L'=0.6$) ではすでに極大がなくなつて，漁業が強いほど漁獲量が増すことになる。

自然死亡係数 (M_S, M_L) のある組合せについて，(F_S, F_L) に対して，小中羽と大羽の漁獲量の合計の等量線をえがくと，Fig. 5.7 のようになる。太い実線が等漁獲量曲線である。Fig. 5.7 上で，現在の状態を示す点を求める必要があるが，それには次の二つの事実を利用する。一つは，2才魚以上の漁獲重量の比率が，全体の 1/3 程度であること，今一つは大羽の生残率が 1/2 程度であることである。(Tables 5.1, 5.2)。図中の破線は，大羽の漁獲量が全体の 1/3 となる点をむすんだものであり，破線上の○印は，大羽の生残率を 0.5 (但し $M_L=0.8$ の場合は 0.4) とおいた時の点を示している。つまりこの○印の点が，現在の漁業の状態に対応する点である。

マイワシ大羽の生残率や，小中羽と大羽の比は，必ずしも一定したものではなく，年々かなり変動している。したがつて，Fig. 5.7 上の○印の点をもつて，正しい現在の状態の推定値とみなすわけにはゆかない。しかし，○印の附近にあることはたしかであろうから，○印を中心とした附近での曲線群のだいたいの性状が，もしある傾向をもつているならば，その傾向については正しいものと考えることができよう。3.6.3 で考えたように，等漁獲量曲線に直交する方向は，最も漁獲量の変化率の大きい方向である。Fig. 5.7 中に，○印の点におけるこの方向を矢印で示した。○印の点の附近では，この方向はだいたい一定の傾向をもつており，○印の位置が多少ずれても，急に大きく変化するというようなことはない。だから，この矢印の方向は，傾向としては信頼し得るものであろう。矢印の方向だけを (M_S, M_L) に対して示すと，Fig. 5.8 となる。M_S, M_L の小さい間は，小中羽を制限して大羽を強化する方向をむいているが，M_S が 1.28



第 5.8 図 いろいろな (M_S, M_L) の組合せの場合の等量線に直角の方向，及び等大羽資源量曲線の方向，矢印の長さはだいたいの漁獲量の増加率をあらわす。Fig. 5.7 参照。

Fig. 5.8 Diagram showing the results of isopleth diagram analysis for various pairs of M_S and M_L. Thick arrow indicates the direction in which the catch increases at the rate shown in the length of the arrow, and fine segment, the direction of constant large sardine biomass.

* 正しくは産卵期における P_L でなければならないが，ここでは簡単のために，年間平均を用いることにする。

を超えるか，M_L が 0.48 を超えると，この方向は急に変つて，小中羽，大羽ともに強化する方向となる。

Fig. 5.8 でみると，M_L が 0.32 以下で，M_S が 1.0 以下の部分をのぞいて，他の領域では，小中羽の制限よりは大羽の漁獲の強化の方がよいということがいえそうである。しかしここで注意すべきことがある。小中羽を制限しないで，大羽の漁獲を強化すると，大羽の資源量が著しく減少する。大羽の資源は産卵親魚群である。産卵群の量とそれからの加入量との間の関係は，Fig. 3.23 に示した通りあきらかでないが，だからといつて，往年にくらべて著しく縮少しているとみられるマイワシ大羽資源を，現在よりさらにへらすような事は，なされるべきではないであろう。だから，大羽資源量は現在より減少させないということを，一つの条件として考えるべきであろう。Fig. 5.7 中には，大羽資源量についての等量線が，細い実線で示してある。○印の点を通つて，この等量線に平行な線をえがいてみる。この方向も Fig. 5.8 中に示した。大羽，小中羽の自然死亡が非常に小さい時には，先に示した漁獲量増加の方向は，大羽資源増大の領域に向つているが，さもないと，最大の増加の方向は，大羽資源減少の方向にむいている。しかし，もし大羽資源を一定に保つたまま，小中羽漁を制限し，大羽漁を強化すると，多くの場合，多少とも漁獲量が増大すると期待されることは，注目すべきである。ただし，M_S が 1.6，或は M_L が 0.8 程度と大きくなると，この二つの方向は，完全に直交し，大羽資源を減少させることなしに漁獲量を増大させることができなくなる。

漁獲の変化の方向のみでなく，変化させた時の漁獲量の増加の程度も重要である。Fig. 5.7 の上で，ごく大ざつぱに見当をつけてみると大羽の自然死亡の高い時ほど増加率が高いようである。又大羽の自然死亡が低く，しかも小中羽の自然死亡が高い場合（たとえば，$M_S=1.6$, $M_L=0.16$）では，増加するといつても，最大数%にすぎず，ほとんど一定である。Fig. 5.8 では，この増加率の大小関係を，矢印の長さで示した。ここにいう増加率は，漁獲係数そのものの変化量に対する率であつて，変化率（たとえば，1割の努力の減少）に対するものではない。

5.2.4 論　　議

前節において，マイワシ資源利用の合理化について，いろいろ考えたが，これ等の中には，当然吟味を要する多くの問題が含まれている。これ等をわけると，だいたい三つに大別されよう。根本的な問題から考えると，資源の現実と，抽象化された理論との間げきの問題である。次には，資源が抽象化された理論と近い性格をもつているものとして，ここで用いた，極端に簡単化されたモデルが適当であつたかどうかという問題である。そして最後に，用いられたモデルが適当であつたとしても，あてはめられた諸パラメタの値が正しかつたかという問題がのこされる。

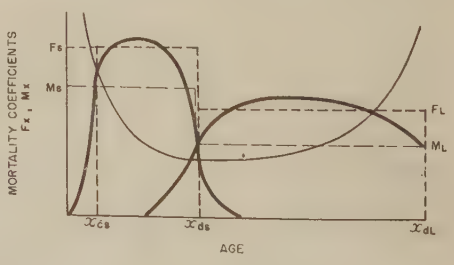
まず数値の問題から考えていこう。ここで用いた数値には，成長曲線のパラメタ K，各段階の区切にあたる年 x_{cS}, x_{dS}, x_{dL}，及び漁獲係数，自然死亡係数，F_S, F_L, M_S, M_L がある。成長曲線のもう一つのパラメタ w_∞ は，ここでは問題とならない。Kの値については，佐藤(1953)は，同じマイワシについて $K=0.6$ と与えているが，これは，ここで用いた 0.8 とくらべてかなり低い。もし $K=0.6$ とおくと，Fig. 5.2 で当才魚の急な成長と合わないように思われる。勿論年令査定のあやまりの可能性はあるが，それは大きいものではないし，マイワシの産卵は，早くても前年の暮頃からと考えられているから，当才魚の成長が実際に急であると考えた方がよいと思われる。そうすると，Kの値はかなり大きいという事になる。Kの値が変化した場合の影響については，3.3.2 で考えた。その中で，ニシンの例で，K が 0.16 から 0.385 と，倍以上に変つた場合でも，相対的漁獲量にほとんど差のない事をみた。マイワシの場合，ニシンとちがつて小型魚を多く漁獲しているので，Kの値の差の影響は，ニシンの場合より強いであろうけれども，Fig. 5.2 で，$K=0.8$ とおいた曲線が，体長組成によく合つているから，いずれにしてもあまり大きな影響があるとは考えられない。Kの値が変ると，M' と M, F' と F の関係が変つてくる。したがつて，Fig. 5.7 での (M_S, M_L) の値や (F_S, F_L) の値が変る。しかし，現在点附近での等量線の性状にはほとんど変りがない。我々の目的が，M や F の数値ではなく，Fig. 5.7 上での矢印の方向にあるとするならば，Kの値の誤差はあまり重要でないということができよう。

3つの年令の区切のうち，x_{dL} の影響は大きくない。たとえば，x_{dL} を無限大とおいても，マイワシの場

合，自然死亡がそんなに低いことはないし，K の値が高いので，ほとんどかわりがないであろう (2.5.3 参照)。x_{cS} や x_{dS} は，或る程度の影響をもつている。しかし，これ等の数値の考えられる誤差の範囲で，結論に大きくひびくほどの影響はないと思われる。年令の区切点の誤差の問題は，各区切の間での F や M の値，及びこれ等が一定であるというモデルの問題と関連している。仮定した M の範囲について，M_S の場合 1.6 より大きい可能性がないわけではないが，Fig. 5.8 でみると，M_S をさらに大きくしても，これ以上の重要な変化はあらわれてこないと考えられる。

モデルの問題点としては，成長曲線及び死亡係数のモデルがあげられる。成長曲線に地域的な差があるらしいということは，村上・早野 (1955)，横田・浅見 (1956) によつても述べられている。しかし，Fig. 5.2 では，各地域について，ある程度漁獲量の重みを考慮して体長組成が示してあるので，変動の巾の平均附近を通る成長曲線をもつて，全体を代表させれば，充分によい結果を与えるであろう (3.3.2.3 参照)。成長曲線が Bertalanffy の型であるかどうかということは問題ではない。どのような理論式を用いても，その曲線が実際の成長によく合つてさえいれば，結果は同じものになるはずである。成長曲線が年によつて，或は年級によつて変化することはあり得るであろう (たとえば，ニシンについて北浜，1955 の例)。しかし，マイワシについて，最近，年による大きな成長の差がみとめられたことはない。中井 (1949) は，1930 年代の大漁時代とくらべると，最近のマイワシの成長がかなりよくなつていること (体重でいうと数割かに達するであろう) を示している。資源の大きさが変化すれば，当然成長も変化するだろう。しかし，今，漁業の変化にともなう成長の変化を論議するだけの資料はなにもない。もし漁業を変化させるとしても，それほど大変革はなし得るわけではないから，1930 年代の大漁時代と現在の間ほどの大きな資源量の変化 (資源量についてはわからないが，漁獲量で比較すると，約 10 : 1) をひきおこすことはあり得ない。だから，密度の差による成長の差は，無視できるものと考えておく方がよいであろう。

死亡係数のモデルの適否の問題は最も困難な問題である。もし漁獲係数と自然死亡係数を，年令に対して厳密にあらわしたとすると，Fig. 5.9 のようになるであろう。しかし，我々はこのような値を知るよしもない。そして，3.2.3 で考えたように，このような年令の函数である F や M を，点線のように階段函数で近似することは，充分に意味のあることである。まして我々は，F や M の値として，すでに観測された値を用いず，等漁獲量曲線上で，小中羽と大羽の漁獲量の比を用いて結果的に推定しているわけであるから，推定された値が，ちようど，階段函数で近似させた時の平均の F や M になつているともいえよう。つまり，F や M，或は x_{cS} や x_{dS} の観測誤差が，我々の知りたい矢印の方向にはあまり影響しないようになつているともいえよう。そして，Fig. 3.12 でも見たように，たとえば小中羽に対する漁獲努力の 2 割の削減が，ちようど階段函数における F_S の 2 割の減少に対応しているということは，充分考えられる。複雑な選択曲線を階段函数で近似するということは，一見ずい分あらつぽい事のように思われるが，実際には，さほど重要な誤差をもたらさないものと考える。ただし，F や M の年令による差があまり大きいと，仮定した M や，図上で推定された F が，実際には何才魚の値に相当しているのかわからなくなり，もし何等かの方法で F や M がある特定年令について推定された時，その値とここでの値との比較ができなくなる。



第 5.9 図 マイワシの年令別死亡係数の模式図

—— F_x —— M_x

----- 近似させた F ---- 近似させた M

Fig. 5.9 Schematic diagram of age-specific mortality coefficients for sardine.

—— F_x —— M_x

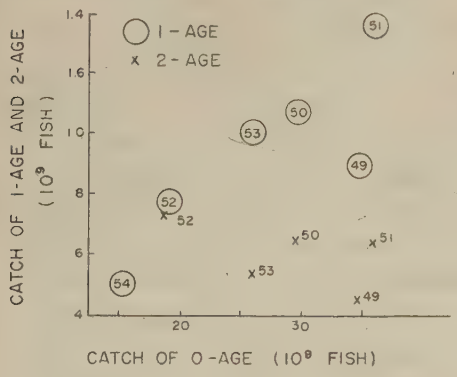
----- Approximated F

----- Approximated M

より根本的に考えると，いろいろむずかしい問題がある。横田・浅見 (1956) は，群衆の問題を重視している。マイワシの減少にともなつて，暖流性回遊魚属全体のバランスが大きく変化したかもしれない，ということについては，横田・浅見のほかに，川崎 (1956) も論じてい

る。とにかく漁獲物の魚種組成からみると，1930 年代と現在とでは，極めて大きな変化がある。もしそのような型で新らしい安定ができておれば，横田・浅見のいうように，容易なことでは資源を回復させることはできないであろう。しかし，漁獲物の組成以外に，我々は群衆の問題について論議し得る具体的データをもたない。又今ここで考えているのは，加入量を与えられたものとして，その生涯を通じての利用の仕方であつて，マイワシ資源を 1930 年代に回復させるための方法ではない。だから，群衆の問題はあつたとしても，それほど重大と考えなくてもよいであろう。

もう一つの重要な点として，資源の構造の問題がある。北海道区水研(印刷中)は，日本周辺のマイワシは 4 つの population からなつていると考えている。これ等のうち，日本海側の 2 つが大きく，太平洋側の 2 つははるかに小さいことが，漁獲量の上から考えられる。日本海側の 2 つの population の間で，成長や生残りについて，特に目立つた差はみとめられていない*。だから population が 2 つにわかれているということが，たとえ正しくとも，全体としてまとめることには問題はない。しかし，脊椎骨について，当才，1 才と 2 才以上で，2 才以上の方が一般に高めとなること（渡辺，1955）から，横田・浅見は，小中羽として あまり漁獲されなかつた群が，大羽として漁獲されるのではないかと述べている。たしかに，脊椎骨数の低い九州方面のマイワシ当才魚の漁獲は多く，脊椎骨の高い日本海の当才魚の漁獲は少ない。つまり，九州方面のマイワシは，当才魚で強い漁獲の影響をうけるため，大羽資源に加わるものが少なく，したがつて，大羽資源は日本海の群によつて維持されているという一つの仮説が立てられる**。



第 5.10 図　マイワシの同一年級での当才と 1 才 2 才の漁獲量の関係。

Fig. 5.10　Correlation between catches of 0-age fish and 1-or 2-age fish of a certain year class.

Fig. 5.10 に，当才魚の漁獲尾数に対して，同年級の 1 才，2 才の漁獲尾数を示す。1 才魚では，あきらかに当才魚と正の相関がみられる。このことは，当才魚の漁獲率が低いか，或は当才魚の漁獲変動は，漁獲率の変化によるのではなく，加入量の変化によることを示している***。しかし，2 才魚との間には，ほとんど関係がみとめられない。いく分逆相関係のあるようにも見えるが，3 才魚の漁獲尾数と比較すると，1949年級では 2 才魚が過少，1952 年級では 2 才魚が過大と思われるので，点のならび方はほとんど平らであるといえる。この関係が真に正しいものであるならば，大羽資源への加入は，当才魚への加入と無関係に一定であるという事になる。これが先にあげた仮説のような事で起つているのか，或は当才魚への加入の多い時は，漁がよいわけであるから，相対的に多くの努力が加えられて，2 才魚になる時には，一定の水準まで下つてしまうためなのか，勿論わからない。ただいずれにしても，小中羽漁の制限によつて，大羽資源への加入の増大を期待することができる。

5.2.5　マイワシ資源利用の合理化についての結論

5.2.3 である想定のもとで，マイワシの漁獲量を計算し，漁獲量を増加させる方策について一つの結論を得た。5.2.4 では，この計算にあたつての問題点について，いろいろと検討してみた。これ等の結果を要約

---

* 由中・伊東(1957)が，日本海北部と南部について，自然死亡を推定した結果では，大きな差があらわれているが，著者等自らがその精度に対して疑問を示している。

** 当才，1 才として漁獲されるものは，高令になると漁場の範囲外へ出てしまうという仮説を立てることもできる。しかし，それならば，行つた先があるはずであるし，又大羽は産卵に沿岸に集ることを考えると，行つた先で発見されてよいはずである。ところで，このようなことは報告されていないので，そのようなことは考えにくい。

*** 漁獲率がそれほど低くない時に，これが変化すると，当才魚と 1 才魚の漁獲尾数の間に逆相関がみられると思われる。

すると，次のようになる。

i) 加入量が一定ならば，漁獲量を増大させるには，自然死亡係数が $M_S=0.8$，及び $M_L=0.32$ 以下ならば，小中羽漁を制限し，大羽漁を強化することが，$M_L=0.48$ 程度であれば，大羽漁を強化することが，又 $M_S=1.28$，或は $M_L=0.8$ 以上では，小中羽，大羽ともに強化することがよい。M_S が高く，M_L が比較的低い時には，実質的にはほとんど増加はみられない。加入量に影響を与えないために，大羽資源を現在の状態に維持することを条件とすれば，$M_S=1.28$，或は $M_L=0.8$ 以上でない時には，小中羽漁を制限し，大羽漁を強化することによつて，多少とも漁獲量の増加がみこまれる。

ii) 以上の結論は，モデルの立て方や数値の点で多くの問題を含んではいるが，i) でのべた結論を著しく修正しなければならないような事は考えられない。根本的な生物学的問題もあるが，今のところ上の結論を否定するような事実は見あたらない。

i), ii) の結論を総合しても，今ただちに資源管理についての一つの方策を提案することはできない。それは，M_S や M_L について正確な値がわかつていないからである。だから，ここでは，マイワシ資源管理上の問題を，自然死亡の大きさの問題にまで整理したということにすぎない。問題が自然死亡の点にまで整理されたわけであるから，将来の調査研究の方向も当然この方向にむけられるべきであろう。そして，M_S について 0.8 以下，1.3 程度，1.6 以上のいずれが正しいか，M_L については，0.3 以下，0.5 程度，0.8 以上のいずれであるかがわかれば，i) の結論にしたがつて，かなり具体的な方策を示すことができるであろう。

山中・伊東(1957)は，各種の方法を用いて，マイワシについて自然死亡の推定を試みている。しかし，そのいずれの方法によつても，充分な結果は得られていない。もつとも，イワシの資源調査がはじめられてまだ 10 年しかたつておらず，点の数も少ないので，精度がわるいということもあるが，アメリカの sardine については，もつと長期にわたつて調査研究されているにもかかわらず，まだ充分な結果が得られたということをきかない。自然死亡の推定法* については，4.6 で論じたが，そのいずれについても，マイワシについて特に有力なきめ手となるとは思われない。魚探による直接観測法は，将来性はあつても，ここ数年で充分に利用できるほどに，技術的に進歩し得るかどうか疑わしい。産卵量調査による親魚量の推定は，現在のところ，最も信頼し得るものと思われるが，それでも調査方法の技術に問題のあることはすでに述べたし(4.6.3.2)，又雌1尾当りの産卵量の推定がまだ充分でない。これ等の改善には，なお相当の日数を要するであろう。以上要するに，要求される精度（先にも示したように，ごくあらつぽいものでしかないのだが）をもつて，自然死亡を推定することは極めてむずかしく，できるとしても，なお幾年かを要するであろう，ということになる。

我々は勿論無用の混乱を望むものではないが，このような研究上の限界について充分に考慮しなければならない。もしマイワシ漁業について，その改善を望み，又資源の悪化を防止し，できうればいくらかでもよくしたいということを強く希望するならば，科学的研究の完成をまつ，或は研究が完成されなければ実際の漁業には適用できないというのであれば，それは消極的に過ぎるというべきではなかろうか。何等かの漁業の規制によつて，資源にある作用をおよぼし，それに対する反応を科学的に追跡しながら，漁業規制の効果を見積り，もしプラスの効果がみとめられるならば，その規制を継続或は強化し，マイナスの効果がみられたならば，あらためるということはできないものであろうか。そしてもしこのようなことが行なわれたならば，結果がプラスであれマイナスであれ，我々は我々の理論の正しさを，具体的に証明することができるはずであり，その次の段階でとられる行為は，より科学的に高い水準のものとなつているはずである。繰返された不幸な戦争によつて，我々は North Sea や東海・黄海において，少なくともある種の底魚が，漁業の圧力を除くことによつて，その資源を回復し得ることを，事実として知つた（Russell, 1939; 西海区水研, 1953b)。Burkenroad(1953) は，海洋漁業生物学における実験的方法の意義を強調している。

---

* 自然死亡の推定は，全滅少を漁獲と自然死亡に分離することに外ならない。直接分離推定を考えても，又資源量の絶対値の推定によつて，漁獲率を直接推定しても，自然死亡は得られる。

以上の論議の結果として，次の事を試案として提案したい：

i) もし可能ならば，何等かの方法で，小中羽漁を制限すること。この制限は，解禁日をきめて小型魚を保護するか，或は小中羽漁の終漁日をきめ，大羽への加入を確保する方法により実現されよう。

ii) もし，この結果，2～3 年後に大羽資源の増加がみられたならば，大羽漁を強化すること。

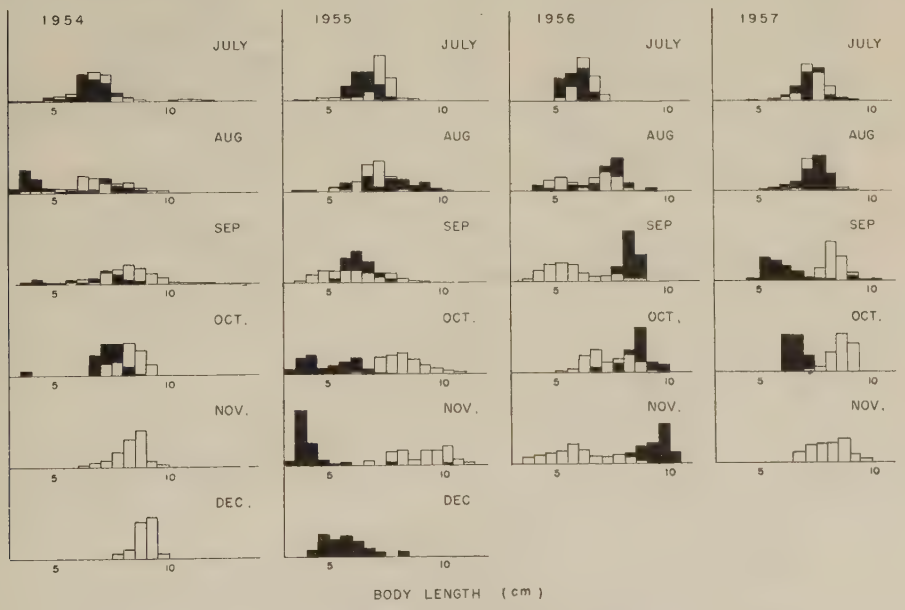
iii) このような措置は，単なる行政措置としてではなく，一つの極めて規模の大きな実験として実施するのであるから，この期間中特に資源調査を強化して実施しなければならない。

iv) もし，このような実験が，そのままの型で実現しないとしても，我々が積極的な作用を資源に与える事によつて，自然死亡の値について，より信頼し得るデータを得ることができると期待される。

5.3 遠州灘，伊勢湾方面のカタクチイワシ資源について

5.3.1 漁業の大勢からみた資源の概観*

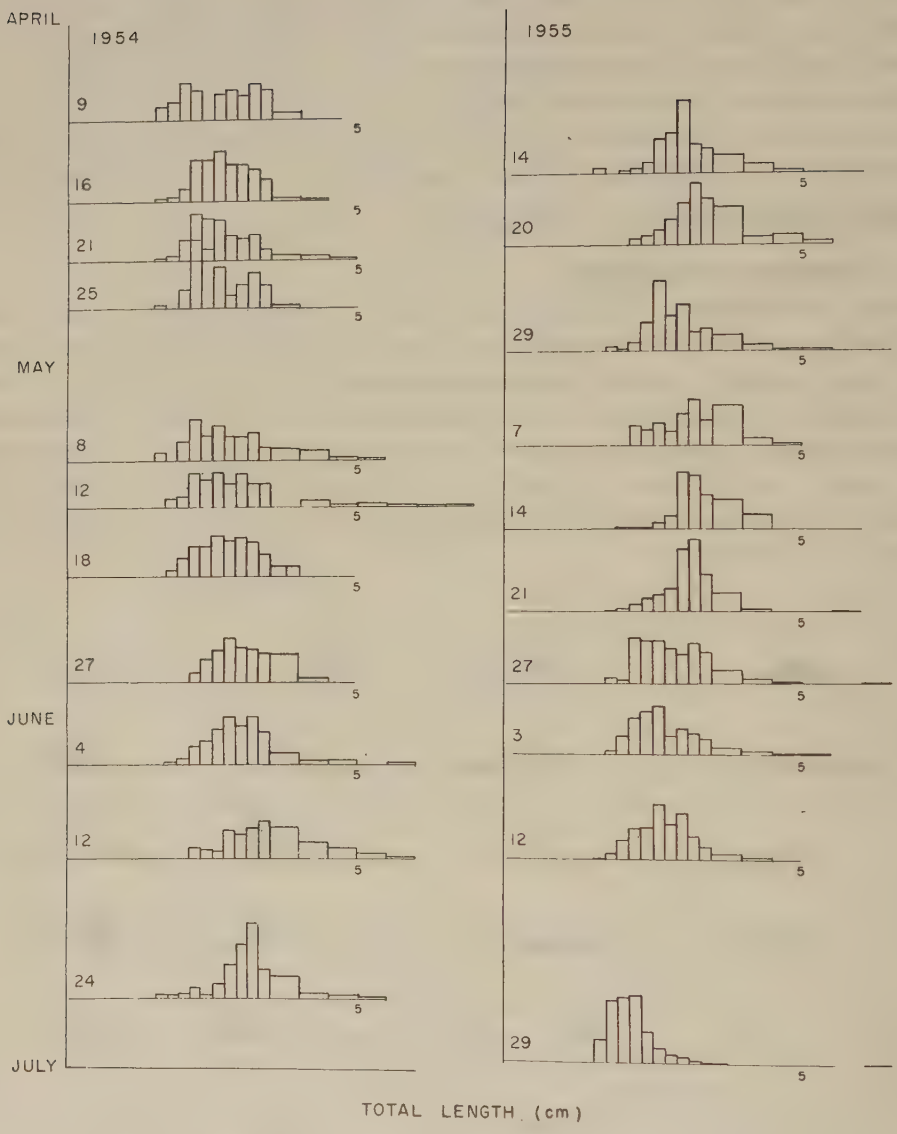
カタクチイワシ漁獲量は，マイワシ漁獲量の減少に反比例して，近年著しく増加している。1953 年には 6,500 万貫であつたものが，1955 年以来 1 億貫の水準に達し，1957 年には，サンマをぬいて全魚類中最高となつている。その漁獲量のうち半数近くが，千葉県から三重県までの東海地区で漁獲されている。その体長組成は，地域的にそれぞれ特徴をもつており，シラスは遠州灘で舟曳網で，当才魚の中型（10 cm 未満）はパツチ網で，伊勢湾・三河湾内で漁獲されている。東側の千葉・茨城県方面では，10 cm 未満の中型魚とともに，10 cm 以上の大型も多数旋網で漁獲されている。神奈川，駿河湾方面は，東西の中間型ともいえる。遠州灘のシラスは周年にわたつてみられるが，最盛期は 5 月を中心とした時期であり，静岡以西での成魚型



第 5.11 図　三重県富田，愛知県西浦　カタクチイワシ体長組成（パツチ網）
□：富田，　■：西浦

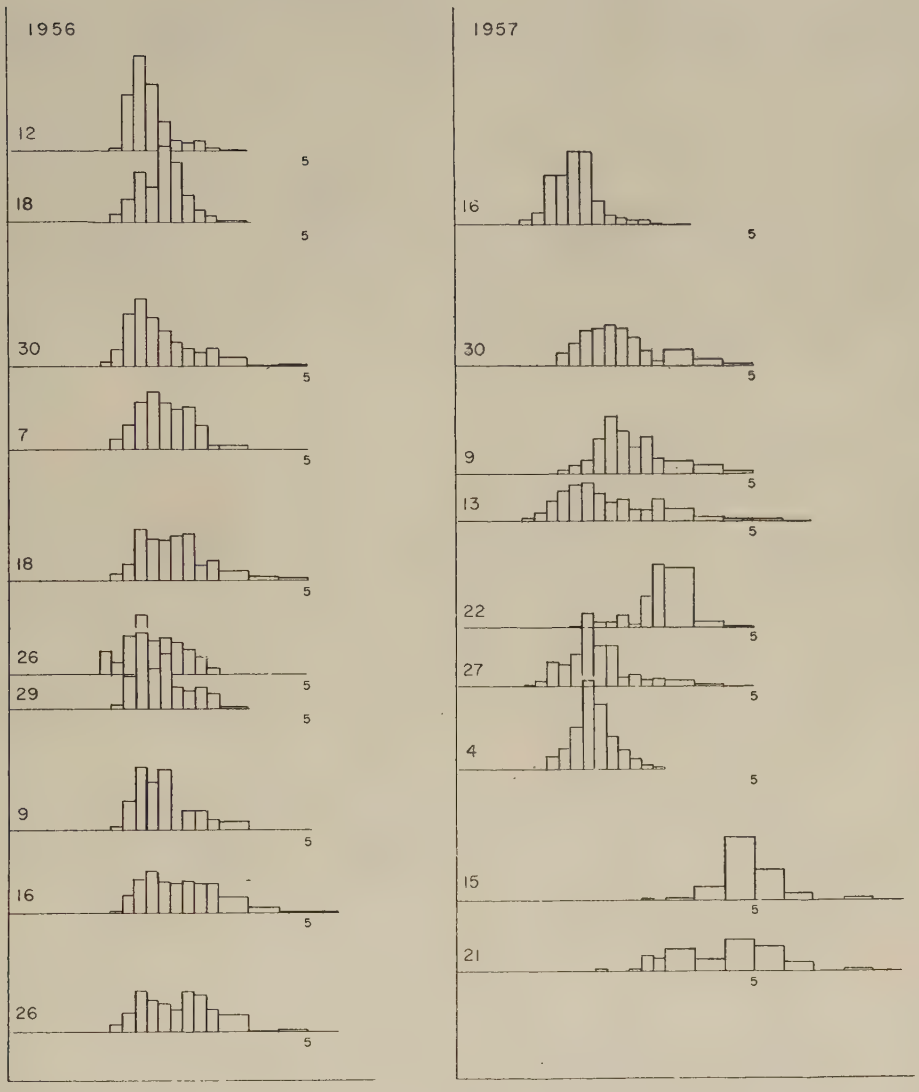
Fig. 5.11　Body length composition of anchovy landed by "batch ami" boats at Tomita, Mie Prefecture and Nishiura, Aichi Prefecture.
□: Tomita　■: Nishiura.

* 資料は，農林省統計調査部統計，東海区水研鰯資源調査資料 B 集（1951～54），その他会議用資料による。



第 5.12 図 舞阪における日別，カタクチシラス全長組成（4 月～6 月）

Fig. 5.12 Total length composition of anchovy landed by boat seine at Maisaka, Shizuoka Prefecture (April-June).



第 5.12 図 続き

Fig. 5.12 Continued

の盛漁期は夏から秋にかけてである。一方銚子方面では，1月を中心に盛期がみられ，体長は 8～10 cm を中心とした比較的大型群である。カタクチイワシ卵は，東京湾口，相模湾を中心とした地域で，3～7 月に多く採集されている。これ等の地域，時期，その時の発育段階，体長，及び海洋条件を合せ考えて，東京湾口，相模湾附近の卵が，海流によつて西へ流されて，遠州灘に到り，さらに伊勢湾内に入り，冬期東行して千葉県銚子方面にあらわれるという一つの回遊系路が想定される（中井・他，1953；田中，1956a；栗田，1957b）。

漁業の影響について，栗田 (1957b) は，自然的要因の方が主としてきいて，漁業の圧力はあまりないであろうと考えている。カタクチイワシは，成熟年令が低く，しかも魚類社会の食性段階の中では最も低位にある (plankton feeder) から，自然死亡は相当に高いであろうし (3.5.1 参照)，最も乱獲になりにくい生態をもつている (2.5.3 参照)。しかも漁獲量自身，近年著しく増大しているので，漁業の影響はあまり問題とされておらず，事実そうであるかもしれないと思われる。しかし，二つの点について問題がある。一つは，シラス漁業の影響であり，他の一つは，一部地域において実施されている解禁日の問題である。これ等のことについて，データの得られる範囲内で考えてみよう。

5.3.2 デ ー タ

5.3.2.1 成長曲線，年令組成

伊勢湾・三河湾のカタクチイワシは，三重・愛知両県のパツチ網によつて，主として 7 月から 12 月にかけて漁獲されている。そしてその間，体長が次第に増加し，魚体の成長していることをあらわしている。したがつて，体長組成のモードを追跡すると，成長曲線を推定することができる (4.5.3)。Fig. 5.11 に，三重県富田，愛知県西浦のパツチ網についてしらべた，カタクチイワシの体長組成を月別に示す。大小の群が混合しており，それだけでは成長をみとめにくいので，各月の最大の型の群（一般に最も明瞭な群）について，年別・月別にそのモードの位置を読取つてみると，Table 5.4 のようになる。個々の年については，モードの増加は必ずしもなめらかではないが，4 ケ年間の平均をとると，比較的なめらかになる。この成長を田

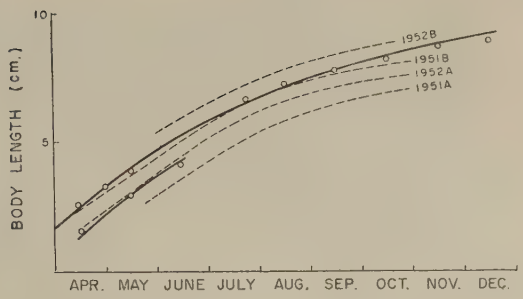
第 5.4 表 伊勢湾カタクチイワシ大型群のモード (cm)

Table 5.4. Mode of length composition of anchovy in Ise Bay.

年 Year / 月 Month	1954	1955	1956	1957	平均 Mean
7	6.5	7	6	7.5	6.75
8	7	7.5	7.5	7.5	7.38
9	8	7.5	8	8	7.88
10	8	8	8.5	8.5	8.25
11	8.5	9	9	8.5	8.75
12	9				9.0

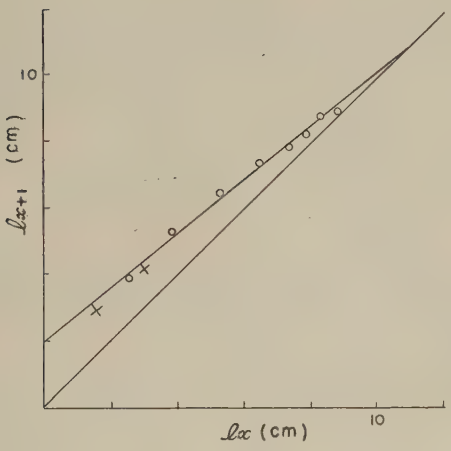
中 (1956a) と比較すると，ちようど 1952 年の B 群と 1951 年の B 群の間にはいる (Fig. 5.13)。

シラスの時期の成長をみるため，舞阪のシラスの組成について，Fig. 5.11 と同様な図を画くと，Fig. 5.12 となる。この図では，調査日ごとの組成を，調査日の間隔にあわせて示してある。一般に 4 月後半から 5 月前半にかけて，モードが大きくなつている様子をみることができるが，それほど明瞭でない。1957 年については，6 月に，全長で 5 cm 前後の大型魚がとれており，これと 4 月，5 月のシラスがつながるようにみえる。これをつないでみると，全長であらわして，4 月半ばで約 18 mm，5 月半ばで約 35 mm，6 月半ばで約 48 mm となる。これを体長＝全長/1.15 の関係（田中，1956a）によつて体長に換算すると，それぞれ，16 mm，30 mm，42 mm となる。この成長は，ほぼ田中 (1956a) の 1952 年の A 群にあたるようである (Fig. 5.13)。この舞阪での群を伊勢湾内での値と比較すると，約 1 cm 程度くいちがうように



第 5.13 図　カタクチイワシの成長曲線

Fig. 5.13　Growth curve of anchovy.



第 5.14 図　カタクチイワシ体長の Walford の定差図

Fig. 5.14　Walford's finite differences diagram of anchovy length. From Fig. 5.13.

みえる。それで，1957 年の舞阪の組成で，ちようど湾内の組成とつながるようなモードをさがしてみると，全長が 4 月半ばで 30 mm，5 月初めに 38 mm，5 月半ばで 45 mm 程度の大きさとなる群があるようにみえる。これを体長に換算すると，それぞれ 26 mm，33 mm，39 mm となる。

以上の結果を，田中 (1956a) の成長曲線と比較して示すと，Fig. 5.13 のようになる。両者の曲線の間に大きな矛盾はない。ただ秋期以後の成長が，いく分よいようであるが，その差は大きくない。ここでこれ等の値を用いて Walford (1946) の定差図をかき，Bertalanffy の成長曲線をあてはめるわけであるが，シラスと成魚型の間で点がつながらないので，田中の成長曲線と比較しながら，6 月半ばでの値を 5.3 cm とおく。又 7 月の値は，解禁日が 7 月中旬以後であることから，7 月後半の値と考え，これも 6.6 cm と補正することにする。結局，各月半ばの値を次のようにおくことになる。

月	4	5	6	7	8	9	10	11	12
体長cm	2.6	3.9	5.3	6.6	7.4	7.9	8.3	8.8	9.0

Walford の定差図は，Fig. 5.14 となる。だいたいよくあてはまる成長曲線として，

$$l=11.0(1-e^{-0.2x}) \qquad l \text{ は cm，} x \text{ は月} \tag{53.1}$$

を得る。同図上に，舞阪のシラスの小型の方の値も×印で示してある。シラスについては，やや体長ののびが少ない傾向があるが，その差はそれほど重大ではない。あてはめられた曲線は，Fig. 5.13 上に太線で示してある。

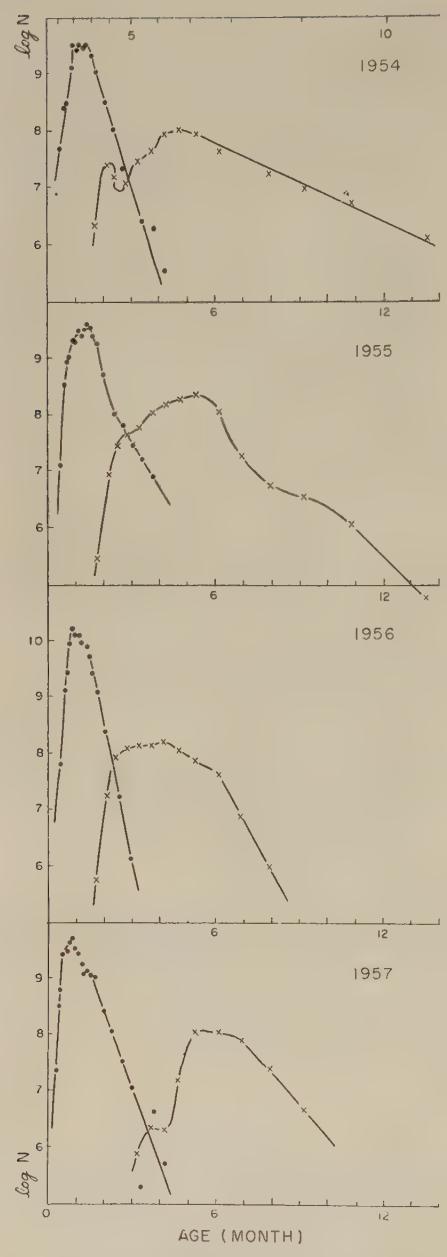
この曲線は，Hayashi and Kondo (1957) の与えた曲線

$$l=14.83(1-0.9153\,e^{-0.142x}) \tag{53.2}$$

とは一致しない。林等の曲線は K の値が小さいから，もつと直線的となる。4～8 月では比較的一致するが，9 月以降林等の曲線ははるかに高くなり，12 月末で 11 cm に達する。林等の式は，2 才魚までを含めて，全体に対してあてはめられているが，もし成長に季節変化があれば，当才魚にだけあてはめた曲線が，全生涯に対してあてはめた曲線と差を生じても不思議ではない。

マイワシの場合同様に，すべての個体の成長が，この曲線であらわされるものと仮定する。この事は，先に（田中，1956 a）brood によつて成長曲線が異なるらしいと述べた事と矛盾するが，現在各 brood ごとに Bertalanffy の式のパラメタをもとめることはできない。又 Hayashi and Kondo (1957) の Fig. 21 でみると，マイワシの場合と同じように，年令の進むほど体長の分散が少なくなる傾向がみられ，各 brood の成長が同一の曲線であらわされるようにもみえる。

成長曲線が得られたので，マイワシについて行なつたと同様にして，体長組成を年令組成に換算することができる。カタクチイワシの体長組成は，Fig. 3.4 に示したが，この組成を年令組成になおすことにする。



第 5.15 図 成長曲線によつて体長組成より変換したカタクチイワシの年令組成。・静岡舟曳 4～6 月，× 三重舟曳 7～9 月（Fig. 3.4 参照）

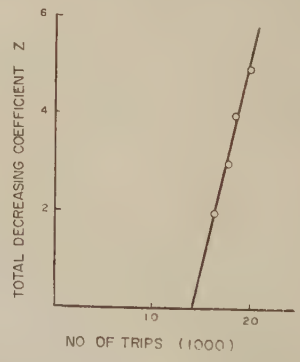
Fig. 5.15 Age composition of anchovy converted from length composition by using growth curve. •: boat seine, April-June in Shizuoka Prefecture. ×: boat seine, July-Sept. in Mie Prefecture. (See also Fig. 3.4).

ところで，シラスは全長組成が与えられているので，全長についての成長曲線を求めねばならないが，これは体長を 1.15 倍すれば得られる。これ等の成長曲線を用いて，長さを年令（月数）に換算する。頻度を補正するための成長速度については，体長については $e^{-0.2x}$，全長については $1.15e^{-0.2x}$ を用いる。

体長組成は，1954～57 の各年について，静岡県の舟曳網の 4～6 月の推定組成でシラスの分をあらわし，三重県の舟曳網（大部分がパッチ網）の7～9月の推定組成で成魚型をあらわすことにする。換算された年令組成を Fig. 5.15 に示す。シラスでは $x=1$ カ月附近で最大に達し，とがつた山形を示したのち，急激に減少する。成魚型では，4 カ月～5 カ月で最大に達し，以後減少する。シラスの場合，減少傾向はほとんど指数型であるが，成魚型の方では，年によりいろいろと変化している。なお湾内の成魚型の漁業は 12 月まで続けられるので，半年を過ぎてからの下り傾斜は，全漁期を通じてみると，かなり変化するであろう。

5.3.2.2 生　残　率

シラスの下り傾斜部分に直線をあてはめて，月々の減少係数 Z を求めてみると，Table 5.5 となる。ここで 1955 年では，屈曲点があるので，それぞれに直線をあてはめた場合，及び全体を通じての平均的値の両方を示した。これ等の減少係数と対比するため，それぞれ同じ年の 4 月～6 月の愛知，静岡両県での舟曳網の努力量（航海数）も同表中に示した。努力量を横軸に，Z の値を縦



第 5.16 図 遠州灘シラスの全減少係数と静岡舟曳の航海数との関係，1954～57（4～6 月）

Fig. 5.16 Correlation between number of trips of "batch ami" boats and total decreasing coefficient of anchovy in Ise Bay

第 5.5 表 シラスの減少係数と舟曳網の航海数

Table 5.5. Decreasing coefficient of anchovy larvae and number of trips of boat seine in Aichi and Shizuoka Prefectures in April-June. (See also Fig. 5.17).

年 Year	減少係数 Z	愛知・静岡舟曳航海数(4—6月) Number of trips
1954	4	18,533
55	3 (4及び2)	18,406
56	5	20,621
57	3	17,011

軸にとつてみると，努力の多いほどZも多い傾向があるが (Fig. 5.16)，その傾向が強すぎて，自然死亡(逸散を含む)はいちぢるしい負の値となる。したがつて，この傾向を信頼することはできない。いずれにしても，シラスの減少係数が極端に高いことは，漁場外に逸散する量の多いことを示しており，シラスの死亡傾向をあらわすものではないと考えるべきであろう。そして，漁場外への逸散を含めた全減少係数が，だいたい月に3～4前後に達すると考えてよいであろう。中井等(1955)は，産卵調査のデータから，マイワシ稚仔の生残曲線を求めているが，その結果をみると，全長 5.3～21 mm のマイワシシラスの月全減少係数が 2.33 程度となつている。この値は逸散を含まない，自然死亡係数と考えてよいであろう。カタクチイワシとマイワシで差がないものとして，体長 5 cm になるまでかわらないと

第 5.6 表 愛知，三重両県パッチ網漁業統計及び減少係数 Z

Table 5.6. Statistics of "batch ami" boats in Aichi and Mie Prefectures and total mortality coefficient Z.

年・月 Year and month		航海数 No. of trips	漁獲量 Catch	航海当 C.P.U.E.	平均体重 Mean weight	航海当 C.P.U.E.	生残率 S	減少係数 $Z=-\log S$	補正した努力 Corrected effort
			(1,000貫) kwan	(貫) kwan	(匁) monme	(1,000尾) fish			
1954	7	1,417	1,338	944	0.7	1,349			
							0.72	0.33	1,815
	8	2,213	2,155	974	1.0	974			
							0.48	0.73	1,994
	9	1,775	1,074	605	1.3	465			
							0.28	1.27	1,748
	10	1,721	362	210	1.6	131			
							1.15	−0.14	1,341
	11	961	277	288	1.9	151			
							0.61	0.49	524
	12	87	17	193	2.1	92			
1955	7	1,620	2,243	1,384	0.7	1,978			
							0.42	0.87	1,952
	8	2,283	1,915	839	1.0	839			
							0.37	0.99	2,515
	9	2,746	1,109	404	1.3	311			
							0.72	0.33	2,513
	10	2,279	820	360	1.6	225			
							1.05	−0.05	2,183
	11	2,086	937	449	1.9	236			
							0.58	0.54	1,205
	12	323	92	286	2.1	136			
1956	7	1,687	1,439	853	0.7	1,219			
							0.72	0.33	1,793
	8	1,899	1,667	878	1.0	878			
							0.67	0.40	1,849
	9	1,798	1,385	770	1.3	592			
							0.67	0.40	1,991
	10	2,184	1,395	639	1.6	399			
							0.53	0.63	1,858
	11	1,531	617	403	1.9	212			
							1.10	−0.10	856
	12	180	89	492	2.1	234			
1957	7	810	1,156	1,427	0.7	2,039			
							0.83	0.19	1,086
	8	1,362	2,317	1,701	1.0	1,701			
							0.48	0.73	1,387
	9	1,412	1,491	1,056	1.3	812			
							0.74	0.30	1,759
	10	2,105	2,033	966	1.6	604			
							0.63	0.46	1,833
	11	1,560	1,123	720	1.9	379			
							0.74	0.30	913
	12	266	158	592	2.1	282			

すると，3～4 と 2.33 の差即ち 0.7～1.7 が漁獲係数と逸散係数の和となる。一方，Fig. 5.12 に示したように，4～6 月を通じて，2～3 cm（全長）のシラスがとれていることは，たえず漁場に新らしい群が加入して来ていることをものがたるものと考える*。

湾内のカタクチイワシ成魚型については，Fig. 5.15 によつて年令組成の上から生残率を計算することは，むずかしいようである。それで，月別の漁獲量と努力量を用いて，4.6.2 の方法によつて，F と M を分離して推定することを試みてみよう。湾内でのカタクチイワシ漁獲は，その大半をパッチ網であげられており，又パッチ網は湾内に限られているので，漁獲統計より三重・愛知両県のパッチ網によるカタクチイワシ漁獲量と努力量(航海数)をみると，ほとんど湾内での漁業の状態をみることができる。

三重県・愛知県のパッチ漁業について，月別漁獲量，航海数及び 1 航海当漁獲量を Table 5.6 に示す。この漁獲重量を尾数に換算するのには，Fig. 5.13 に示した成長曲線を用い，又肥満度が 10 であるとする。月別の平均体重を Table 5.6 中に示す。勿論湾内でとれるカタクチイワシは，いくつもの broods からなつており，大小いろいろの型の魚体が混合しているので (Fig. 5.11)，一本の成長曲線で平均体重を求めるのは危険であり，又年によりかなり組成も異なつているが，今これ等をくわしく検討するには，資料が不充分である。なお尾数でいえば，小型魚が多い場合でも，1 個体あたりの体重は大型ほど大きいので，大型小型の重量組成では，圧倒的に大型が多くなる傾向があるから，大型群のみの成長曲線を用いて重量を尾数に換算した場合，かなりよく大型群だけについての尾数の変動傾向をつかむことができるであろう。

平均体重で航海当の重量を割つて，航海当尾数が求められる。これは毎月の平均資源尾数の指数である (Ricker, 1940)。月々の生残率を求めるためには，月初めの尾数も知らなければならないが，それには月々の死亡係数がわからねばならず，結局このままでは月初め尾数は求められない。Beverton and Holt (1957) は，第 1 近似として，努力当漁獲量の月々の比をもつて生残率をあらわし，その結果で努力当を月初めの資源に補正するという，くりかえし法を考えている。ここでは，くりかえし法によらないで，別の近似法を考える。全減少係数が Z の時，月平均資源量は

$$\bar{N}=N_0\int_0^1 e^{-Zt}\,dt \fallingdotseq N_0\frac{1-e^{-Z}}{Z} \qquad (53.3)$$

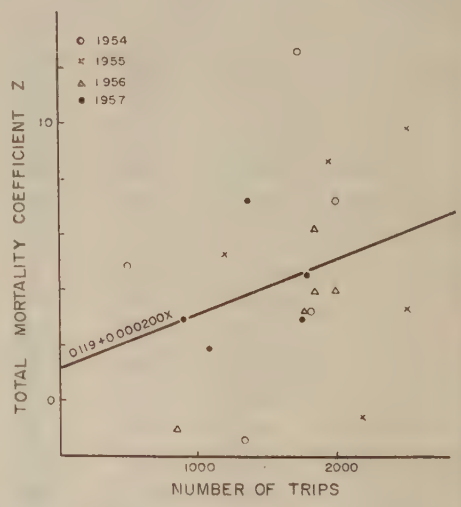
となる。もし Z があまり大きくない時には，

$$\bar{N}\fallingdotseq N_0\frac{Z-\frac{Z^2}{2}}{Z}=N_0\left(1-\frac{Z}{2}\right) \qquad (53.4)$$

となる。一方月内での Z の変化がないとすると，$t=\frac{1}{2}$ の時の資源量は，

$$N_{\frac{1}{2}}=N_0\,e^{-\frac{Z}{2}}\fallingdotseq N_0\left(1-\frac{Z}{2}\right)\fallingdotseq\bar{N} \qquad (53.5)$$

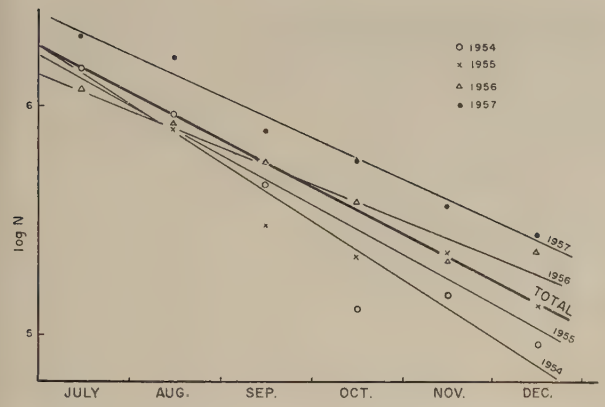
となり，平均資源量は月半ばの資源量にほぼ近いということになる。そしてもし，月内で努力量がだいたい均等に分布しておれば，ある月の半ばから次の月の半ばまでの間に加えられる努力量は，前の月の努力量の半分に，次の月の努力量の半分を加えたものと考えてよいであろう。航海当尾数の比を生残率にとつた時に，これと比較すべき努力量の値は，引続く 2 ケ月間の努力量の移動平均ということになる。生残率 S，補正した努力量及び



第 5.17 図 伊勢湾のカタクチイワシの全減少係数と，パッチ網航海数との関係，1954～57 (7～12 月)

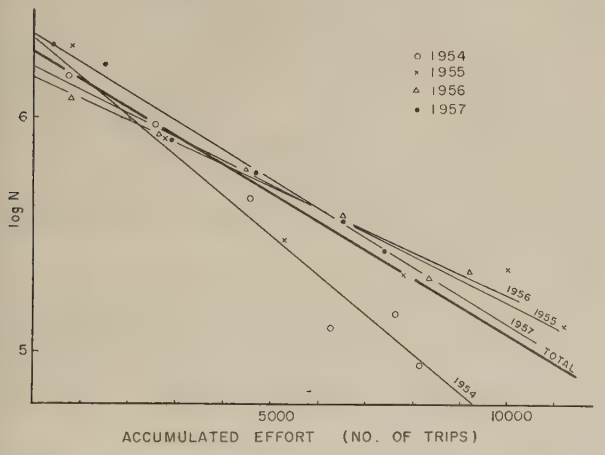
Fig. 5.17 Correlation between number of trips of "batch ami" boats and total decreasing coefficient of anchovy in Ise Bay. (July-December).

* たえず補給されるとはいつても，ある間隔をもつて周期的に加入がくりかえされるということを否定するものではない。



第 5.18 図　伊勢湾カタクチイワシの努力当漁獲量の季節的減少傾向

Fig. 5.18　Seasonal decline of catch per unit effort for anchovy in the Ise Bay.



第 5.19 図　伊勢湾カタクチイワシの努力当漁獲量と累積努力との関係

Fig. 5.19　Regression of catch per unit effort on accumulated number of trips of "batch ami" boats for anchovy in Ise Bay.

$-\log S=Z$ の値も，Table 5.6 に示してある。

Table 5.6 の値により，努力量と Z の関係を図示すると，Fig. 5.17 となる。点のばらつきが大きく，ほとんど正確な回帰直線は求められそうにない。回帰を計算してみても，相関係数は 0.3 にすぎず，有意とはならない。得られた結果を示すと，1 航海当の漁獲率 $q=0.00020$，自然死亡係数 $M=0.119$（月単位）となる。回帰が有意でないから，q 及び M の信頼限界は著しく大きく，当然 $q=0$ を含むことになる。この時は，$M=0.450$ が推定値となる。推定された $q=0.00020$ が正しいものとすると，航海数 1000 回で $F=0.2$, $f=18\%$，又 2500 回で $F=0.5$, $f=39\%$（いずれも月単位）とかなり高い値になる。なお，ここでいう自然死亡には，漁場外への逸散も含まれていると考えられる（4.7.3 参照）。

Table 5.6 の航海当尾数を，月に対してプロットすると，Fig. 5.18 に示すように，年によつて傾斜はことなるが，だいたい直線的な減少傾向を示す。この傾斜から全減少係数 Z を求めると，1954～57 の各年について，0.60, 0.50, 0.31, 0.42 となり，又全体としては 0.472 となる。この値は，Fig. 5.17 での各月の Z の平均 0.450 とだいたい合つている。

一方，DeLury (1947) にならつて，横軸に累積努力（7 月からその月半ばまでの総努力量）をとり，縦軸に航海当り尾数をとつて，各年別にプロットすると，やはり直線的下り傾向がみられ (Fig. 5.19)，回帰係数を求めて，単位努力当漁獲率を計算すると，1954～57 年でそれぞれ，$q=0.00039$, 0.00023, 0.00021, 0.00028, 年級変動を補正した上で，全体をプールすると 0.000267 となる。この値は，Fig. 5.17 で求めた $q=0.00020$ より大きいが，DeLury の方法では自然死亡が q の中に含まれて推定されるので，大きくなるのは当然である。

Fig. 5.18 と Fig. 5.19 を比較する時，もし $q=0$ であれば，Fig. 5.18 の方が正しく，その場合は $Z=M$ となる。又 $M=0$ であれば，Fig. 5.19 のやり方が正しいことになり，$Z=qX$ であるはずである。だから，もしどちらかの方法を用いた方が，直線からの点のはずれが小さかつたとすると，その仮定（$q=0$ か，或は $M=0$）のどちらかの方がより正しいらしいと考えてよかろう。二つの方法で，年級変動と回帰部

分を差引いた誤差分散を計算してみると*，(航海当尾数の常用対数値について)，$q=0$ の仮定の場合には 0.01432，$M=0$ の仮定の場合には 0.01506 となり，ほとんど差をつけられない。つまり，どちらの仮定がより正しいともいえない。

ここで，伊勢湾内の成魚型の死亡係数の推定結果を一覧にすれば：

もし，自然死亡が無視し得るならば　$q=0.00027$，$M=0$

もし，漁獲率が無視し得るならば　$q=0$，$M=0.47$

両方を分離して推定した結果では，　$q=0.00020$，$M\doteqdot 0.12$

(以上いずれも月単位)

となる。M の中には逸散による部分が含まれている。

5.3.3 シラス漁業の影響

5.3.3.1 モデルの設定

今までにしらべて来たことを考え合せて，遠州灘，伊勢湾方面でのカタクチイワシ資源についてのモデルを設定することができる。この資源は，遠州灘でシラスとして利用され，湾内に入つてからは成魚型として利用されている。だから，あきらかに，3.2.1.2 で考えた，年令によつて異なつた漁業によつて利用される場合に相当する。シラスを (S)，成魚型を (L) であらわすと，年令組成でみたように，$x_{cS}=1.0$，$x_{cL}=4.0$ とおくのがよいであろう。又 x_d については，シラスでは全滅少係数がかなり高いので，$x_{dS}=\infty$ としてさしつかえない。又成魚型では，漁期を 11 月一ぱいとみて，$x_{dL}=9$** とおく。漁獲係数は，シラスで F_S，成魚型では F_L とし，ともに年令，時期によらず一定とする。自然死亡についても M_S，M_L はそれぞれ一定とする。シラスについては，$x_{dS}=\infty$ とおいているので，$x=4$ を超えても自然死亡係数は M_S ということになるが，全滅少が大きいから，このための誤差は無視できる。遠州灘の漁場から外にのがれたシラスは，そのまま湾内資源に加入するものとする。なお，Z_S が 3～4 であれば，$x=4$ の時には，すでに完全に加入を完了しているとみてさしつかえない。湾内漁場から外部にのがれた魚群は，さらに別の漁業によつて利用されているであろうが，この事は考えないことにする。

以上のモデルにしたがつて，漁獲量の式を導びこう。シラスの漁獲量には問題はない。ただ M_S のかわりに，逸散係数 θ_S を加えた $(M_S+\theta_S)$ を用いればよい。しかし，成魚型についてはシラス漁場から逸散したものが加入量となるため，(32.4)式はそのままは用いられない。この加入量を実際に求めねばならない。今 $x=4.0$ となるまでは，成魚型漁場では，シラス漁場からの加入と自然死亡のみが作用していて，漁獲は行なわれないものとすると，成魚型の資源量は，

$$\frac{dN_L}{dx}=-M_SN_L+\theta_SN_S \tag{53.6}$$

となる。ここで，

$$N_S=Re^{-(F_S+M_S+\theta_S)(x-1.0)} \tag{53.7}$$

であるから，これを (53.6) 式に代入すると，

$$\frac{dN_L}{dx}+M_SN_L=\theta_S\cdot Re^{-(F_S+M_S+\theta_S)(x-1.0)} \tag{53.8}$$

となる。この式を解き，$x=1.0$ で $N_L=0$ とおくと，

$$N_L=R\frac{\theta_S}{F_S+\theta_S}e^{-M_S(x-1.0)}\{1-e^{-(F_S+\theta_S)(x-1.0)}\} \tag{53.9}$$

となる。ここで $x=4.0$ の時の N_L は，$(F_S+\theta_S)$ が充分大きいとして，近似的に

---

* 方法は通常の回帰分析による (たとえば Snedecor, 1946, 日本語訳 310 p.)

** Fig. 5.13 であてはめた成長曲線で，$l=0$ となる点は 1 月 1 日からかぞえて，2.25 カ月 (3 月の初めから 1/4 月の点) である。だから，11.25 (12 月の初めから 1/4 月の点) でちようど 9 カ月ということになる。$x=1.0$，$x=4.0$ の点は，それぞれ，4 月の初めから 1/4 カ月，及び 7 月の初めから 1/4 カ月の点ということになる。

$$N_L=R\frac{\theta_S}{F_S+\theta_S}e^{-3.0M_S}=R\frac{\theta_S'}{F_S'+\theta_S'}e^{-0.6M_S'} \qquad (x=4.0) \qquad (53.10)$$

とおいてよかろう。この N_L が成魚型資源への加入量である。

漁獲量の式は次のようになる。

$$\left.\begin{aligned} Y_S&=w_\infty R\frac{F_S'}{Z_S'}D_0(\xi_{cS},\ Z_S')\\ Y_L&=w_\infty R\frac{\theta_S'}{F_S'+\theta_S'}e^{-0.6M_S'}\frac{F_L'}{Z_L'}D(\xi_{cL},\ \xi_{dL}\,;Z_L')\end{aligned}\right\} \qquad (53.11)$$

漁獲量を相対的にのみ考える場合には $(w_\infty R)$ の数値は問題とならない。年令の限界は，

$$x_{cS}=1.0 \qquad x_{cL}=4.0 \qquad x_{dL}=9.0$$

であるから，$K=0.2$ とすると，

$$\xi_{cS}=0.2 \qquad \xi_{cL}=0.8 \qquad \xi_{dL}=1.8$$

となる。F, M, θ については，決定的な値が推定されていないので，5.2 のマイワシの場合同様，いろいろと仮定してみなければならない。ただ全滅少係数については，ある程度わかつている。勿論年により差が大きいが，だいたいの平均をとつて，

$$Z_S=3.5 \qquad Z_L=0.45$$

したがつて，

$$Z_S'=17.5 \qquad Z_L'=2.25$$

とおく。$M+\theta$ 或は F の値は，$0\sim Z$ の範囲でいろいろと仮定することができる。F 又は $(M+\theta)$ のどちらかを仮定すると，$Z=F+(M+\theta)$ の関係によつて，ただちに他の側の値も求められる。Y_L を求めるには，さらに M_S, θ_S を別々に推定しなければならない。M_S として中井等 (1955) がマイワシについて求めた全長 21 mm 以下の稚仔についての $M=2.33$ という値を利用するのも一つの方法であるが，ここでは，シラスの漁獲量 Y_S と成魚型の漁獲量 Y_L の比が，実際の比にあるように，$\dfrac{\theta_S'}{F_S'+\theta_S'}c^{-0.6M_S'}$ の値をきめることによつて，M_S', θ_S' を推定することにする。1954～57 年のシラス及び成魚型の漁獲量の比を求めると，Table 5.7 のようになる。平均して，成魚型が 3.5 倍であると考えてよいであろう。

第 5.7 表　シラスと成魚型の漁獲量比

Table 5.7. Ratio of catch of larval anchovy in Shizuoka and Aichi Prefectures in April-June to that of adult forms in Aichi and Mie Prefectures in July-December.

年 Year	静岡・愛知 4～6月 シラス漁獲量 Larvae	愛知・三重 パッチ網 7～12月 カタクチイワシ漁獲量 Adult forms	比 Ratio
	(1,000貫) kwan	(1,000貫) kwan	
1954	1,598	5,223	1 : 3.27
55	2,275	7,116	1 : 3.13
56	2,991	6,591	1 : 2.20
57	944	8,277	1 : 8.76
計 Total	7,808	27,207	1 : 3.48

5.3.3.2 計　算　式

$(M_S'+\theta_S')$ と $(M_L'+\theta_L')$ をいろいろに仮定すると，(53.11) 式によつてある F_S, F_L に対して Y_S, Y_L が計算され，マイワシの場合 (5.2.3) と同様に，$(F_S,\ F_L)$ であらわした 2 次元の平面上に，等漁獲量曲線を画くことができる。しかし，今の我々の目的は，等漁獲量曲線の全体的な形をみることではなく，現在の漁業の状態を，もし改めるとすれば，どのように F_S と F_L を動かせばよいかを知ることである (Holt, 1958)。したがつて，F_S, F_L の広範な領域について，等量線をひく必要はない。現在の漁業の状態をあらわす点における等量線の方向，及び漁獲量曲面* に，この点で接する平面の，水平面とのなす角等を知れば充分であろう。等量線の方向から，漁業を変化させるべき方向がわかり，平面のなす角度で，どの程度漁獲量が増加するかの目安が得られる。だから，実際に等量線を画いてみなくても，直接これ等の値を求めれば充分である。

具体的な計算は次のようにして進められる。まず Y_S を計算する。ところで，

* $(F_S,\ F_L)$ 平面に直角の方向に漁獲量の軸をとり，$Y=Y(F_S,\ F_L)$ とあらわした時の曲面。

$$Y_S=w_\infty R\frac{F_S'}{Z_S'}D_0(\xi_{cS},\ Z_S')$$

で，Z_S', ξ_{cS} を固定して考えると，

$$Y_S=w_\infty R\frac{D_0}{Z_S'}\cdot F_S' \tag{53.12}$$

となり，$Y_S/w_\infty R$ が F_S' に比例することがわかる。$Z_S'=17.5$, $\xi_{cS}=0.2$ を入れると，

$$\frac{Y_S}{w_\infty R}=\frac{0.01285}{17.5}F_S'=0.003305\,F_S' \tag{53.13}$$

となる。Y_S がわかれば，仮定により

$$Y_L=3.5\,Y_S \tag{53.14}$$

$$Y=Y_S+Y_L=4.5\,Y_S \tag{53.15}$$

として，成魚型及び全体の漁獲量が求められる。

次に F_S' や F_L' の変化にともなう Y の変化を考えよう。Y を F_S' で偏微分すると，

$$\frac{\partial}{\partial F_S'}(Y_S+Y_L)=\frac{dY_S}{dF_S'}+\frac{\partial Y_L}{\partial F_S'} \tag{53.16}$$

(53.12) 式及び

$$Y_L=w_\infty R\frac{\theta_S'}{F_S'+\theta_S'}e^{-0.6M_S'}\frac{D}{Z_L'}\cdot F_L' \tag{53.17}$$

から，

$$\frac{\partial}{\partial F_S'}(Y_S+Y_L)=w_\infty R\left\{\frac{D_0}{Z_S'}+\frac{d}{dF_S'}\left(\frac{D_0}{Z_S'}\right)F_S'-\frac{\theta_S'}{(F_S'+\theta_S')^2}e^{-0.6M_S'}\frac{D}{Z_L'}F_L'\right\}$$

ところで，(53.14) 式の関係から，

$$\frac{\theta_S'}{F_S'+\theta_S'}e^{-0.6M_S'}\frac{D}{Z_L'}F_L'=3.5\frac{D_0}{Z_S'}F_S' \tag{53.18}$$

となるので，

$$\frac{\partial}{\partial F_S'}(Y_S+Y_L)=w_\infty R\left\{\frac{D_0}{Z_S'}+\frac{d}{dF_S'}\left(\frac{D_0}{Z_S'}\right)F_S'-3.5\frac{D_0}{Z_S'}\frac{F_S'}{F_S'+\theta_S'}\right\} \tag{53.19}$$

各値を代入すると，

$$\frac{1}{w_\infty R}\frac{\partial}{\partial F_S'}(Y_S+Y_L)=0.0007343-0.000071\,F_S'-0.002570\frac{F_S'}{F_S'+\theta_S'} \tag{53.20}$$

となる。F_L' についても同様にして

$$\frac{\partial}{\partial F_L'}(Y_S+Y_L)=\frac{\partial Y_L}{\partial F_L'}=w_\infty R\frac{\theta_S'}{F_S'+\theta_S'}e^{-0.6M_S'}\left\{\frac{D}{Z_L'}+\frac{d}{dF_L'}\left(\frac{D}{Z_L'}\right)\cdot F_L'\right\}$$

(53.14) 式の関係から

$$\frac{\partial Y_L}{\partial F_L'}=w_\infty R\,3.5\frac{D_0}{Z_S'}\left\{\frac{1}{F_S'}+\frac{d}{dF_L'}\left(\frac{D}{Z_L'}\right)\Big/\frac{D}{Z_L'}\right\}F_S' \tag{53.21}$$

したがつて

$$\frac{1}{w_\infty R}\frac{\partial Y_L}{\partial F_L'}=0.002570\left\{\frac{1}{F_L'}-\frac{0.00510}{0.1223}\right\}F_S'$$

$$=0.002570\left\{\frac{1}{F_L'}-0.417\right\}F_S' \tag{53.22}$$

となる。

$\frac{\partial Y}{\partial F_S'}$, $\frac{\partial Y}{\partial F_L'}$ がわかれば，等高線の方向 $\frac{dF_L'}{dF_S'}\left(=\frac{dF_L}{dF_S}\right)$ は，(36.24) 式と同様に，

$$\frac{dF_L'}{dF_S'}=-\frac{\partial Y}{\partial F_S'}\Big/\frac{\partial Y}{\partial F_L'} \tag{53.23}$$

によつて求められる。現在点で漁獲量曲面に接する平面と水平面となす角を φ とすると，$\tan\varphi$ は等量線

に直角の方向に単位距離* だけ漁業を変化させた時の漁獲量の増し分を与える。$\tan\varphi$ は $\frac{\partial Y}{\partial F_S'}$, $\frac{\partial Y}{\partial F_L'}$ で与えられ,

$$\tan\varphi=\sqrt{\left(\frac{\partial Y}{\partial F_S'}\right)^2+\left(\frac{\partial Y}{\partial F_L'}\right)^2} \tag{53.24}$$

である。$\tan\varphi$ が大きいほど，一定の変化に対して漁獲量の変化が大きいということになる。漁業を変化させるに要する経費が見積られたならば，等量線の方向，及び $\tan\varphi$ の値から，最も効率のよい変化の方向，及びその方向へ変化させた時の変化率を見当づけることができる。

$\frac{\partial Y}{\partial F_S'}$, $\frac{\partial Y}{\partial F_S'}$ は，F の絶対的な変化に対する Y の絶対的な変化を与えるものである。実は現在この値はあまり意味をもたない。我々は F の絶対値を知らないので，これを努力量を通じて，相対的に判断する以外にない。Y についても相対的増減の方が重要である。だから，むしろ $\partial\log Y/\partial\log F$ で考えるべきであろう。これは

$$\frac{\partial\log Y}{\partial\log F}=\frac{\partial Y}{\partial F}\frac{F}{Y} \tag{53.25}$$

となるから，(53.12)，(53.15)，(53.19) 式より

$$\begin{aligned}\frac{\partial Y}{\partial F_S'}\frac{F_S'}{Y}&=\frac{\frac{D_0}{Z_S'}+\frac{d}{dF_S'}\left(\frac{D_0}{Z_S'}\right)F_S'-3.5\frac{D_0}{Z_S'}\cdot\frac{F_S'}{F_S'+\theta_S'}}{4.5-\frac{D_0}{Z_S'}F_S'}F_S'\\&=\frac{1}{4.5}\left(1+\frac{d}{dF_S'}\left(\frac{D_0}{Z_S'}\right)\Big/\frac{D_0}{Z_S'}-3.5\frac{F_S'}{F_S'+\theta_S'}\right) \qquad (53.26)\\&=\frac{1}{4.5}\left(1-0.09615F_S'-3.5\frac{F_S'}{F_S'+\theta_S'}\right)\\&=0.2222-0.02137F_S'-0.7778\frac{F_S'}{E_S'+\theta_S'} \qquad (53.27)\end{aligned}$$

又，(53.21) 式より

$$\begin{aligned}\frac{\partial Y}{\partial F_L'}\frac{F_L'}{Y}&=\frac{3.5\frac{D_0}{Z_S'}\left\{\frac{1}{F_L'}+\frac{d}{dF_L'}\left(\frac{D}{Z_L'}\right)\Big/\frac{D}{Z_L'}\right\}F_S'}{4.5\frac{D_0}{Z_S'}F_S'}F_L'\\&=\frac{3.5}{4.5}\left\{1+\frac{d}{dF_L'}\left(\frac{D}{Z_L'}\right)\Big/\frac{D}{Z_L'}F_L'\right\} \qquad (53.28)\\&=0.7778\{1-0.4170\,F_L'\}\\&=0.7778-0.3243\,F_L' \qquad (53.29)\end{aligned}$$

となる。F_S', F_L' をそれぞれ r_S, r_L 倍にした時，全体としての Y の増加率は，r が 1 に近いとして

$$\frac{dY}{Y}=\frac{\partial Y}{\partial F_S'}\frac{F_S'}{Y}(r_S-1)+\frac{\partial Y}{\partial F_L'}\frac{F_L'}{Y}(r_L-1) \tag{53.30}$$

となる。($\log F_S'$, $\log F_L'$) 平面での等高線の方向，曲面のなす角 $\tan\varphi$ も，(53.23) 及び (53.24) 式にならつて求められる。

以上に示した値の計算にあたつて，F_S', F_L' は任意に与えるものとする。しかし，(53.20)，(53.27) 式を計算するには，(53.18) 式より，θ_S' の値を求めなければならない。(53.18) 式をかきなおすと，

$$\{(Z_S'-M_S')-F_S'\}F_L'=3.5\frac{\frac{D_0}{Z_S'}}{\frac{D}{Z_L'}}(Z_S'-M_S')e^{0.6M_S'}F_S'$$

数値を入れると，

$$\{(17.5-M_S')-F_S'\}F_L'=0.02101(17.5-M_S')e^{0.6M_S'}F_S'$$

* ここでいう距離とは，$\sqrt{(\Delta F_S)^2+(\Delta F_L)^2}$ を意味している。

したがつて

$$F_S'=\frac{(17.5-M_S')F_L'}{0.02101(17.5-M_S')e^{0.6M_S'}+F_L'} \quad \cdots \quad (53.31)$$

$$\theta_S'=(Z_S'-M_S')-F_S'=(17.5-M_S')-F_S' \quad (53.32)$$

を得る。ここで，まず F_L', M_S' を与えて，F_S' を求めれば，この M_S' と F_S' の関係から，適当な補間法で，逆に任意の F_S' に対して M_S' を求めることができる。

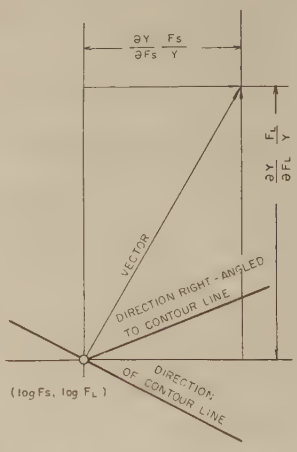
(53.31) 式で $M_S'=0$ とおくと

$$F_S'=\frac{17.5F_L'}{0.02101\cdot 17.5+F_L'}=\frac{17.5F_L'}{0.3677+F_L'} \quad (53.33)$$

を得るが，もしある F_L' に対して (53.33) を満足する，F_S' より大きな値を与えると，$M_S'<0$ となるので，この F_S' が仮定し得る F_S' の上限であることがわかる。M_S' に 0 以外の値を与えると，M_S' がこの値となる時の，F_S' と F_L' の関係を求めることができる。

5.3.3.3 結果及び若干の論議

以上にのべた式によつて計算した結果は，Fig. 5.21 にのされているが，その前に，この図の表現法について，簡単に説明しておこう (Fig. 5.20)。まず，ある仮定された (F_S, F_L) の点において，$\frac{\partial Y}{\partial F_S'}\frac{F_S'}{Y}$ 及び $\frac{\partial Y}{\partial F_L'}\frac{F_L'}{Y}$ の値を，ベクトルの型で示す。前者が F_S 方向，後者が F_L 方向の成分である。こうすると，ベクトルの方向は，$\frac{\partial Y}{\partial F_L'}\frac{F_L'}{Y}\Big/\frac{\partial Y}{\partial F_S'}\frac{F_S'}{Y}$ となるので，ちようど $(\log F_S', \log F_L')$ 平面上で，等量線に直交していることがわかる。ベクトルの大きさ(矢の長さ)は $\sqrt{\left(\frac{\partial Y}{\partial F_L'}\frac{F_L'}{Y}\right)^2+\left(\frac{\partial Y}{\partial F_S'}\frac{F_S'}{Y}\right)^2}$ であるが，これは $\log Y$ の曲面に $(\log F_S', \log F_L')$ の点で接する平面の，水平面となす角の正切にほかならない。(F_S', F_L') を普通尺でのした時に，等量線に直交する方向は，このベクトルの方向と一致しない。この方向は，$\frac{\partial Y}{\partial F_L}\Big/\frac{\partial Y}{\partial F_S}$ であるから，両軸を対数になおすと，



第 5.20 図 Fig. 5.21 の表示法についての説明

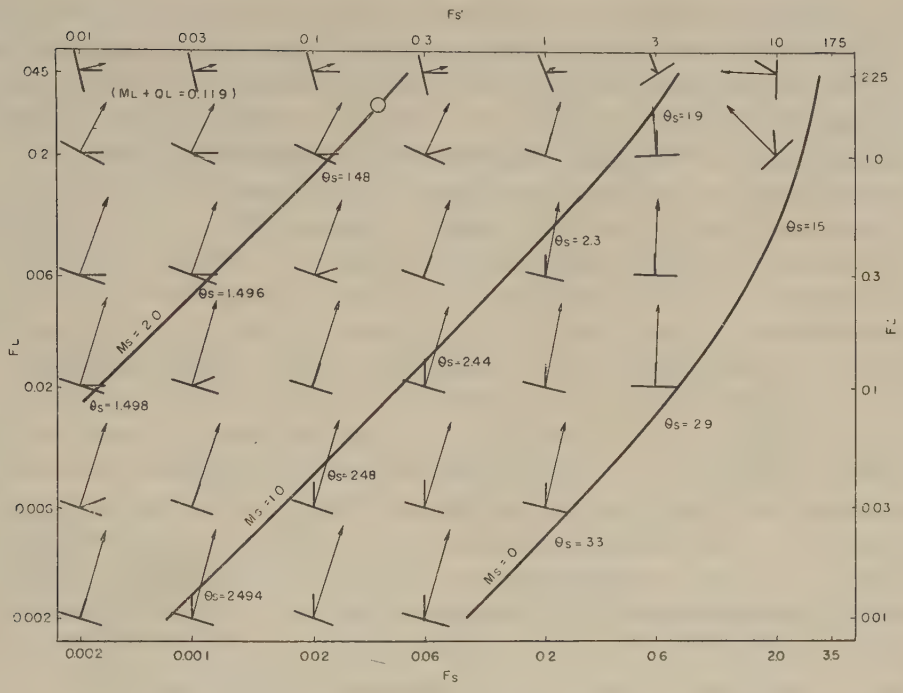
Fig. 5.20 Explanation on expression in Fig. 5.21.

$$\frac{\log(F_L'+\Delta F_L')-\log F_L'}{\log(F_S'+\Delta F_S')-\log F_S'}=\frac{\Delta F_L'F_S'}{\Delta F_S'F_L'}=\left(\frac{\partial Y}{\partial F_L'}\Big/\frac{\partial Y}{\partial F_S'}\right)\left(\frac{F_S'}{F_L'}\right) \quad (53.34)$$

となる。これは，ベクトルの方向 $\left(\frac{\partial Y}{\partial F_L'}\Big/\frac{\partial Y}{\partial F_S'}\right)\left(\frac{F_L'}{F_S'}\right)$ と比較すると，$(F_S'/F_L')^2$ 倍になつている。$F_S'=F_L'$ の点ではこの両方向は一致し，この点から，F_L の大きい方 (左上) にかたよるほど水平に，F_S が大きい方 (右下) にかたよるほど垂直になる。ある任意の方向の変化 (r_S, r_L) に対応するベクトルの方向は，$\left(\frac{\partial Y}{\partial F_L'}F_L'(r_L-1)\right)\Big/\left(\frac{\partial Y}{\partial F_S'}F_S'(r_S-1)\right)$ であるから，先に示したベクトルの方向の $(r_L-1)/(r_S-1)$ 倍になつている。

Fig. 5.21 は Fig. 5.20 と同じ方法によつて，いろいろな (F_S, F_L) の組に対して示してある。又同時に，$M_S=0$, 1.0, 2.0 となる線も示してある。$M_S=0$ となる線の右下では，$M_S<0$ となるので，このような (F_S, F_L) を仮定することはできない。M_S の値を示す曲線の上には，参考のために，θ_S の値を示しておいた。先に，湾内の成魚型について，$M_L+Q_L=0.119$ $(F_S=0.45-0.119=0.33)$ という値を得たが，この線も図中に示してある。さらに中井等 (1955) がマイワシについて求めた値が，全長 21 mm 以下のシラスで $M_S=2.33$ であること* から，かりにより大きいシラスでは，$M_S=2.0$ であるとすると，○印の点が

* 勿論この数字には問題がある。Ahlstrom (1954) のデータと比較すると，孵化後 (5 日後) から 1 カ月間 (35 日まで) の間での減少係数が，1950 年で約 2.3, 1951 年で約 0.9 となつている。1950 年の値は中井等のそれと合つているが，Ahlstrom は，この値は過大であつて，1951 年の値の方が信頼できると述べている。さらに，稚仔期の成長について，中井等が 2 カ月で約 18 mm (体長) と「成」するとしているのに，Ahlstrom は 40 日で約 19 mm (体長) に成」するとしている。もしどちらかの「成」曲線があやまりであつたとすると，両者の間の差はますます大きくなる。



第 5.21 図　いろいろ仮定された（F_S, F_L）の組について，等量線の方向，これに直角の方向，及びベクトルの方向。表示法については，Fig. 5.20 を参照

Fig. 5.21　Direction of contour line, derection right-angled to contour line and vector at the present point on the isopleth diagram illustrated for a number of pair of (F_S, F_L). Refer to Fig. 5.20 for expression.

得られる。

Fig. 5.21 の結果を要約すると，次のようになる。

i)　F_L については，矢印が下むきとなることはない。つまり，F_L の増加は，必ず漁獲増をもたらすといえる。漁獲量の増加率は，もし現在の F_L が小さければ（0.2 以下，M_L+Q_L が 0.25 以上）ならば，かなり大きい（F_L を 10% 増にすると，5～8% 増となる率*）が，現在の F_L がかなり大きい（0.4 以上，M_L+Q_L が 0.05 以下）時には，あまり大きくない（F_L を 10% 増しても 1% 或はそれ以下の増しか得られない率）。

ii)　F_S については，現在の F_S が 0.6（$M_S+Q_S=2.9$）附近である場合をはさんで，もし，F_S がこれ以下であれば，F_S を大きくすると Y が増し，又 F_S が 0.6 以上であれば，F_S を小さくすると Y が増すことになる。F_S が 0.2 以下（M_S+Q_S が 3.3 以上）であれば，F_S の 10% 増に対して 2% 程度増となる。もし F_L が 2.0 程度（M_S+Q_S が 1.5 程度）と非常に大きいと，F_S の減少はかなり効果的となり，F_S の 10% 減で 5% 程度の増加となる。

iii)　等量線に直角の方向（普通尺の図で）は，$M_S=1.5$ の線附近では，F_S, F_L をほぼ同率で増加させる方向，$M_S \geqq 2.0$ では，F_S のみを増加させる方向，$M_S \leqq 1.0$ では，F_L のみを増加させる方向をむいている。

iv)　$M_L+Q_L=0.119$, $M_S=2.0$ とした場合（図中○印）では，F_S のみの増加方向が示される。このこ

* 厳密にいえば，実際に 10% 増にしても，漁獲量は 5～8% ふえるわけではない。F_L の増加が無限小の場合での率（10% に対する 5～8% の）を示しているにすぎない。以下の記述も同様である。

とは，○印の点附近の広い範囲にわたつて共通の傾向であり，$M_S=1.5(F_S=0.2)$程度になるまで，実質的には変化がない。$M_S=1.0(F_S=0.6)$程度になると，急に方向が変つて，F_S の減少方向が示される。

以上の Fig. 5.21 の結果から，直ちに決定的な結論を得ることはできないが，資源の管理についての一つのヒントは得られたと考えてよいであろう。しかし，ここで行なつた計算が，いくつかの仮定の上になり立つている点は，注意しなければならない。これ等の事について，簡単に検討してみよう。

マイワシの所 (5.2.4) で考えたと同様の事がここでも考えられる。数値の点では，ここで用いた数値は，x_{cS}, x_{cL}, x_{dL}, Z_S, Z_L 及び K である。これ等の数値は，勿論かなりの誤差を含んでいるであろうし，又年によつても変動するであろうが，上にのべた結果全体としては，マイワシの場合にいろいろと論じたように，これ等の誤差によつて，それほど大きな影響はうけないであろう。成長曲線について，シラスから成魚型まで一本の曲線であらわした事は，Fig. 5.13 の上ではそれほどくいちがいを示さないが，体長を体重に換算する点で，シラスは肥満度が低いので，かなりの誤差が生ずるかもしれない。又 Bertalanffy の成長曲線では，体長の成長曲線は，常に上に対して凸であるが，シラスの成長は，むしろくぼんだ形になつているのではないかと思われる (Fig. 5.13 中の点線)。そして，成長曲線が実際の成長にかなり合つているようにみえる時でも，体長の小さいシラスでは，相対的誤差はかなり大きくなつているであろう。各 brood で成長曲線が等しいかどうかという点についても疑問がある。田中 (1956a) の成長曲線を，群別に定差図にあらわしてみると，w_∞ があきらかに brood によつて異なつている。もつとも，これ等の群別の成長曲線にも問題があるわけであるが。成長曲線の誤差は，Fig. 5.15 で，シラスの全減少係数 Z_S を求める時の誤差の源ともなる。傾斜が非常に急であるので，成長曲線のわずかの差が，Z_S では何倍にも拡大される可能性はある。しかし，$Z_S=3.5$ が，2になつたり，或は5になつたとしても，全体的傾向はあまり変化しないであろう。ただし，$\frac{\partial Y}{\partial F_S}=0$ となる F_S の値（この点で，変化の方向が急変する，Fig. 5.21）は，これ等の誤差によつて，多少移動するであろう。

計算の基礎となるモデルについても，問題は多い。これ等を要約すると，a) 遠州灘のシラスの availability は，1 よりかなり低いのではないか，b) 伊勢湾のカタクチイワシは，すべて遠州灘のシラスによつて補給されるものであるか，又遠州灘のシラスは，すべて伊勢湾に補給されるものか，c) 伊勢湾のカタクチイワシは，漁期前に補給を完了するものか，漁期中にも外から補給されないか，という3点となろう。

a) については，シラスが沖合どこまで分布しているのかわからないが，漁場はごく沿岸に限られているようである。Availability がどの程度のものであるか全く見当がつかない。Availability が 1 より小さいと，漁場内資源での生残曲線と，全体の資源での生残曲線とは，全く異なつたものとなり，Z_S は過大にみつもられる（漁獲の影響で）。ただし，漁場の内外で魚群の混合がひんぱんに行なわれるような場合には，差を生じない。$Z_S=3.5$ という値は非常に大きい値にはちがいないが，マイワシのシラスで $M_S=2.331$ と出ていることを考えると，それほどまとはずれな値とはいえまい。

b) の点については，一応，伊勢湾内の成魚型の大部分は，遠州灘のシラスと同一の補給源に由来するものと考えられる (田中，1956a)。しかし，遠州灘漁場内を通過して来たものが，どのくらいの割合であるかわからない。もし，遠州灘の漁場内を通つたシラスは，全く湾内に入らずに他に向い，一方漁場外を通つたシラスのみが湾内に入るものとすると，遠州灘の舟曳と湾内のパッチをむすびつけて考えることは無意味となるが，この方面の海況等を考えると，それほど極端なことはあり得ないと考えられる。又遠州灘のシラスが全部は湾内に入らないとしても，他へ回遊してしまうものは，遠州灘と湾内での漁獲のみを考える限り，自然死亡と同等のものであり，ここでの論議にはなんの支障もきたさない。遠州灘で，秋期（年により異なるが，8月～11月）にも漁獲の山がみられるのに，伊勢湾内では，これに対応する型の魚はあまり漁獲されていないので (田中，1956a)，この秋の群がどこへ行くかはわからない。それで，遠州灘のシラス漁業としては，春期の4月～6月のみを考えたわけである。

c) の点については，体長組成の季節変化をみると (田中，1956a)，漁期中にも，小型群の補給はある程度続いているとみられる。しかし，もし成長曲線が各 brood とも同一だとすると，途中からの補給の有無は

問題でない。そして補給の時期を6月とか7月というように固定して考えないで，体長が 6 cm 前後になつた時と考えればよい。Fig. 5.15 でみると，5 cm 以下のものは，数がかなり少なくなる。

以上の外に，経済的効果を考えるならば，シラスの方が成魚型よりねだんが高いということを注意しなければならない。つまり，収入という点で考えると，Y_S と Y_L をそのまま加え合せることはできない。シラスは一般に成魚型より高価であるが，単位重量当りの価額の比を c とすると，金額で考える場合には，Y_S のかわりに cY_S を用いればよい。そして相対的総収入は $V=cY+Y_L$ となり，シラス漁業の重みがずつと高くなる。したがつて，$\frac{\partial V}{\partial F_S}=0$ となる F_S の値は，$\frac{\partial Y}{\partial F_S}=0$ となる F_S の値より大きくなる。

$$\frac{\partial V}{\partial F_S'}=\frac{\partial V_S}{\partial F_S'}+\frac{\partial V_L}{\partial F_S'}=c\frac{\partial Y_S}{\partial F_S'}+\frac{\partial Y_L}{\partial F_S'} \tag{53.35}$$

(53.19) 式より

$$\frac{\partial V}{\partial F_S'}=w_\infty R\left[c\left(\frac{D_0}{Z_S'}+\frac{d}{dF_S'}\left(\frac{D_0}{Z_S'}\right)F_S'\right)-3.5\frac{D_0}{Z_S'}\frac{F_S'}{F_S'+\theta_S'}\right]$$

故に

$$\frac{1}{w_\infty R}\frac{\partial V}{\partial F_S'}=(0.0007343-0.000071F_S')c-0.002570\frac{F_S'}{F_S'+\theta_S'} \tag{53.36}$$

となる。$\partial V/\partial F_S'=0$ となる F_S' の値は，$c=1$ の時にはだいたい 3 であり，F_S であらわすと 0.6 となる。c が大きくなるほどこの値より大きくなり，$0.0007343/0.000071=10.4$ 即ち $F_S=2.1$ に近くなる。シラス漁業が悪い影響を与えている可能性は，それだけ小さくなる。

もう一つ考慮を要する点は，シラス漁業が間引の効果によつて，自然死亡に影響を与える可能性についてである。Ricker (1954) は“Quoddy”herring の漁獲が，成熟魚にむしろよい影響を与えたと考えている。Ricker は，補償的死亡は，特に幼稚魚期におこるとしている。Beverton and Holt も，発育の初期のある時期に，critical stage が存在して，補償的効果（密度従属的死亡）が強く働くということを仮定している。シラスは，発育の段階としては，ごく初期の時期であり，この時期の漁獲が，間引の効果によつて，密度従属的死亡をやわらげ，かえつて成魚型への加入によい影響を与える（或はよい影響とまではいかなくても，少なくとも漁獲のもつ直接的な効果が，かなりゆるめられる）可能性は否定できない。もしこのような影響があれば，シラス漁業の悪影響の可能性は，よほど小さくなる。

5.3.4 伊勢湾における解禁日の問題

湾内の成魚型の漁業について，この群がより高令魚として他の地方で漁獲される可能性を考えない時には，努力量の減少によつて漁獲量の増大する可能性は全く考えられない（Fig. 5.21 で矢印が下をむくことがない）。もしそうだとすると，解禁日をもうけて，ある大きさになるまで漁獲を制限するということの意義は，資源保護の点からは，意義が少ないかもしれない。このことは ξ_{cL} を変化させた時の Y_L の変化をみることによつて検討される。Y_L を

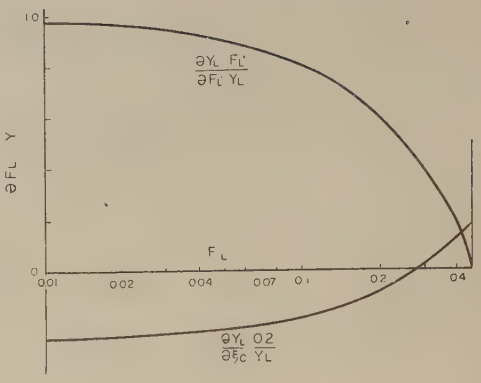
$$Y_L=w_\infty Re^{-(\xi_{cL}-0.8)(M_L'+\theta_L')}\frac{D_{\xi_{cL}}}{Z_L'}F_L' \tag{53.37}$$

とし，$\xi_{cL}=0.8$　$Z_L'=2.25$ とすると

$$\begin{aligned}\frac{\partial Y_L}{\partial F_L'}\frac{F'}{Y_L}&=\frac{\frac{D_{\xi_{cL}}}{Z_L'}+\frac{\partial}{\partial F_L'}\left(\frac{D}{Z_L'}\right)F_L'}{\frac{D}{Z_L'}F_L'}F_L'\\&=1+\frac{\partial}{\partial F_L'}\left(\frac{D}{Z_L'}\right)\Big/\frac{D}{Z_L'}\cdot F_L'\\&=1-0.417\,F_L'\end{aligned} \tag{53.38}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial Y_L}{\partial \xi_{cL}}\frac{\Delta\xi_{cL}}{Y_L}&=\left\{\frac{\partial}{\partial\xi_{cL}}\left(\frac{D}{Z_L'}\right)-(M_L'+\theta_L')\frac{D}{Z_L'}\right\}F_L'\Delta\xi_{cL}\\&=\left\{\frac{\partial}{\partial\xi_{cL}}\left(\frac{D}{Z_L'}\right)-D+F_L'\frac{D}{Z_L'}\right\}F_L'\Delta\xi_{cL}\\&=\{0.1223\,F_L-0.171\}F_L'\Delta\xi_{cL}\end{aligned} \tag{53.39}$$

となる。これ等の値を F_L に対して図示すると，Fig. 5.22 のようになる。ただしこの図で，$\Delta\xi_{cL}=0.2$ (x にして1カ月) としてある。F_L の変化に対する Y_L の変化は常に正の方向にあるが，ξ_{cL} は，$F_L=0.27$ 以下の場合には小さくした方がよく，F_L がこの値より高い場合には，ξ_{cL} を大きくした方がよいことになる。先に求めた，$M_L+Q_L=0.119$ 即ち $F_L=0.331$ の点では，解禁日をむしろおくらせた方がよい部分に入る。しかし，1カ月おくらせたとしても，漁獲量の増加率は数%にすぎない。



第 5.22 図 現在の漁獲係数 F_L をいろいろに仮定した場合の漁獲係数及び最小漁獲年令の変化による漁獲量の変化率

Fig. 5.22 Changing rate of yield by change in F_L and x_c under the assumed values of F_L at present.

5.3.5 遠州灘，伊勢湾方面のカタクチイワシ資源についての一応の結論

5.3.3 及び 5.3.4 において，カタクチシラスの漁獲の影響，及び解禁日の意義について考えた。その結果をくりかえして要約すると，次のようになる。

i) 現在のシラスの漁獲係数 F_S が，0.6 前後である場合を境にして，これより低ければ努力量を増加させ，高ければ減少させることがよい。ただし，F_S が2程度と非常に大きい場合以外は，実質的漁獲量の増加はそれほど大きくない。

ii) 現在のカタクチイワシ成魚の漁獲係数がいくらであつても，成魚型の漁獲を強化すると，漁獲量は増加する。しかし，もし F_L が 0.2 以下であれば，ある程度の実質的増加が期待されるが，F_L が高いと，増加率はずつと小さくなる。

iii) 現在のカタクチ成魚の漁獲係数 F_L が 0.27 より高ければ，解禁日をおくらせることがよく，0.27 より低ければ，解禁日をはやめた方がよい。その際，1カ月のずれによる漁獲量の増加率は最大3割以下で，あまり大きな量ではないと思われる。

以上のように，実際の F_S や F_L が推定されないかぎり，結果はかなり巾をもつたものであり，数値そのものもかなりの誤差を含んでいるであろうから，これから，漁業を変化させるべき方向についての断定的結論を引出すことは困難であろう。資源の管理を考える場合に，一応注意すべき点は，F_S が著しく高い場合である。F_S が 0.6 程度より大きくなると，方向が急変し，さらに F_S が 2.0 程度になると，シラス漁業の制限はかなりの好影響をもつ可能性があるからである。ところで，月に $F_S=0.6$ ということは，月漁獲率であらわすと $f=0.45$，又1年間に換算すると，係数で 7.2，漁獲率は $f=99.93\%$ という値になる。勿論このような漁業が1年間続けられるわけではなく，せいぜい3カ月であろうが，単位時間当の強さとしては，非常に高いことになる。シラス漁業は沿岸で密集して，多数の船によつて行なわれているが，availability の事も考えると，これほど高いとは考えにくい。だから，F_S がそれほど高いというたしからしさは薄いし，したがつて，シラス漁業の制限を今考えなければならないほどの緊急性はない。今一つの問題点の，解禁日の点については，Fig. 5.17 から求めた F_L の値でいえば，解禁日を早める根拠はないし，又現在以上におくらせても，特に有利とも思われない。

F を増大させた方がよいという可能性は，特に成魚型について強い。しかし，同じく Fig. 5.17 から求めた F_L の値でいうと，10% の努力増で漁獲増は，成魚型のみで考えても 3.5% 程度であるから，(Fig. 5.22)，経済的に有利かどうかは問題がある。ただ，何らかの能率漁法導入の動きがあつた時に，これを禁ずる根拠はないといえる。

今までに検討して来た事をまとめて，一つの結論を出すとすると，次のようにいえるであろう：

現在，シラス漁業，成魚型漁業とも，資源に悪い影響を与えているという可能性は小さい。したがつて，

漁獲を制限する必要はみとめられない。漁獲を強化することについては，特にこれを奨励することは，やはり危険であろう。しかし漁業者の自発的強化に対して，制限を加える必要はみとめられない。解禁日の点については，資源保護の立場から，特に大きな意義をもつているとはいえないが，もし漁業管理の面での必要性があるならば，強いて否定するほどの事もなく，又解禁日をもうけたために，資源利用の上で不利になつているともいえない。

以上要するに，今後さらに資源調査によつて，より多くのデータが得られ，新らしい事実がわかるまでは，現在の漁業の状態に特に変化を加える必要性はないといえる。したがつて，今後の調査研究では，資源の諸特性値の精度を高めるために，いろいろのデータを集めるとともに，漁況予報という点にも力を入れる必要があろう。

5.4 以西底曳漁業の資源について

5.4.1 以西底曳漁業資源における問題点

以西底曳漁業の資源は，古くからよく研究され，特にトロール漁業については古くからの詳細な漁獲量，努力量統計が利用できるので，これ等によつて，いろいろと資源の問題が検討されている。この漁業の歴史をたどつてみると，1900 年代の初め以来の North Sea における底曳漁業と，多くの点で類似しており，いわば典型的な底曳漁業の例ということができよう。

以西底曳漁業について，資源の立場から論じたものはいくつかあるが，里内(1937)或は笠原(1948)，西海区水産研究所(1953b)が述べていることを一口に要約すると，次のようになる。1930 年以前の開拓期においては，一方では新漁場への進出，V.D. 式トロールの輸入，デイーゼルエンジンの導入等が行なわれるとともに，タイ類等のいわゆる赤物の漁獲の激減がみられ，1930年頃には，すでに問題とならない量となつていた。その後，戦前までは，漁業の状態に目立つた変化はなかつたが，個々の資源について，いろいろの消長がみられ，又漁業の面で，いわゆる侵略漁業的行為もあつたようである。1930年頃までの赤物にとつてかわつたのはグチ類を中心とした低級魚，つぶし物であつたが，それ等のいくつかも 1940年頃までにはかなりの減少を示した。笠原(1948)は，1928 年頃と 1937 年とでは，漁獲努力は 1.7 倍に強化されたと考えている。

戦争の影響で，1941 年頃から，努力量は激減し，一時は完全な休漁状態となつたが，その間に，多くの魚種で資源の回復がみられた。笠原は 1928 年頃の状態にまで回復したと推定している。しかし，当時のいわゆるマツカーサーラインによつて，漁場を著しくせばめられたにもかかわらず，努力量は急速に戦前の状態に回復し，資源の荒廃が心配されたが，事実キダイをはじめとして，戦後著しく資源の回復したかにみえた魚種で，漁獲の著減がみられた。

戦後の以西資源が問題になり出した 1948～49 年頃に，漁獲量及び努力量の経年変化によつて，資源問題を論じた論文があいついで出された。これ等は，笠原(1948)，山本(1949a)，田内(1949)である。これ等はいずれも，戦前のトロール漁業のデータにより，増加した魚種，変化のなかつた魚種，資源の減少した魚種の名をあげている。結果は三者においておおむね一致しており，資源が増加したか，或は減少のみられないものとしては，タチウオ，クログチ，キグチ，ハモ，エビ，マナガツオ，下エイ等をあげ，又減少の著しいものとして，上カレイ，ホウボウ，シログチ，マダイ，サメ，キダイ等をあげている。そして笠原は，a) 努力量を 1928 年頃におさえること，b) 渤海及び全沿岸区域を禁漁区とすること，c) マダイ，キダイの日本船の漁獲量を制限することを主張し，田内は，適正な漁獲率として，キダイ，マナガツオ，ニベ，クログチ，ハモ，ヒラメ，カレイ，ホウボウ，サメについては 1940～41 年頃の値がよいと推定している。又山本は，現在の隻数 (1949 年当時) が仮にマ・ラインが撤廃になつた後においても過大であると考えられるので，逐次減船を実行することが肝要であると述べている。

以上のような情勢において，資源研究の必要性が強調され，1947年に水産局福岡事務所が設置され，これと，水産研究会福岡分室の協同により，詳細な漁獲統計資料が整理公表され（“以西トロール，機船底曳網漁業漁獲統計要報” 第 1 巻，1948）るとともに，魚体調査も開始され，多くの研究結果が，東海黄海底魚資源調査研究誌，第 1 巻(1949)として公表された（山本，1949b，同研究誌序文)。田口(1949)は民間人の立場か

第 5.8 表 汽船トロール漁業漁獲量及び努力量統計（山本，1949a より）

Table 5.8. Statistics of otter trawl fishery in the East China and Yellow Seas.

年 Year	曳網回数 No. of hauls	総漁獲量 Total catch	主要魚種 Important species	雑魚 Others	1曳網当 C.P.U.E.	同主要魚種 C.P.U.E. of major species	同雑魚 C.P.U.E. of others
	(1,000回) hauls	(1,000貫) kwan	(1,000貫) kwan	(1,000貫) kwan	(貫) kwan	(貫) kwan	(貫) kwan
1922	77.9	9,145	7,097	2,048	117	91	26
23	81.7	9,985	7,962	2,023	122	97	25
24	78.0	10,039	7,961	2,078	128	102	27
25	71.7	10,533	8,581	1,952	147	120	27
26	74.8	12,149	9,706	2,443	162	130	33
27	73.1	13,401	10,277	3,124	184	141	43
28	72.5	15,527	11,997	3,530	214	165	49
29	74.8	16,599	12,393	4,206	221	166	56
30	71.3	16,259	11,471	4,788	228	161	67
31	61.8	14,888	11,274	3,614	240	182	59
32	60.9	14,362	10,845	3,517	236	178	58
33	54.7	11,733	9,011	2,722	214	165	50
34	57.1	12,137	9,387	2,750	212	164	48
35	54.6	11,378	8,706	2,672	208	159	49
36	56.7	11,315	8,449	2,866	200	149	51
37	57.0	10,591	7,649	2,942	186	134	52
38	45.9	8,590	5,877	2,713	187	128	59
39	43.8	8,147	4,988	3,159	186	114	72
40	43.6	8,014	4,899	3,115	184	112	72
41	24.6	5,612	3,045	2,567	228	124	104
42	(15.5)	4,525	2,090	2,435	(292)	(135)	(157)
43	(17.2)	5,088	2,409	2,679	(296)	(140)	(156)

ら，漁業者として自主的に資源研究を行なうことの必要を強調している。水産研究会等で行なわれていた資源調査は，1950年来，西海区水産研究所が中心となつて，さらに規模組織を拡大して実施されて来た。その結果は，“東海，黄海における底魚資源の研究” 1～4 (1953～57) をはじめ，多くの印刷物となつて発表されている。

東海，黄海における底魚資源の研究，1 (西海区水研，1953b) によると，調査対象魚種としてえらばれた7魚種のうち，ハモ，クログチは戦前において，1網当漁獲量の減少の傾向はみられず，又戦後でもあまり回復の様子はみられないが，他のワニエソ，ホンニベ，シログチ，キダイでは，戦前1網当漁獲量がかなり減少し，戦後ある程度回復したが，再び減少し出した様子がみえる。キグチについては，戦前減少し，戦後ではむしろ増加傾向がみられる。西海区水研の人達は，これ等の1曳網当漁獲量の変化は，漁場の変遷に影響されることが大きいので，必ずしも資源の変動をあらわすものではなく，特に戦後の値は，マ・ライン等によつてゆがめられた数字である事に注意しているが，それでも，ある程度までは資源変動の傾向をあらわしていると考えている。これ等の検討の結論としての資源管理の問題については，ほとんどふれていないが，網目の制限については，普通に用いられている網目を，2寸目から 2.5 寸目に引上げることを提案している。

東海・黄海における底魚資源の研究，4 (1957) では，1956年までに得られた知見がまとめられているが，それによると（木部崎，1957），漁獲量の変動は，漁獲努力量の変動，及び漁場移動によつて引きおこされたも

第 5.9 表 戦後，以西底曳漁業漁獲量努力量（以西トロール機船底曳網漁業漁獲統計要報より）

Table 5.9. Statistics of trawl fisheries in the East China and Yellow Seas after the war.

年 Year	汽船トロール Otter trawler			機船底曳網 Two-boat trawler		
	曳網回数 No. of hauls	総漁獲量 Catch	1曳網当 C.P.U.E.	曳網回数 No. of hauls	総漁獲量 Catch	1曳網当 C.P.U.E.
	(1,000回) hauls	(1,000貫) kwan	(貫) kwan	(1,000回) hauls	(1,000貫) kwan	(貫) kwan
1947	22.1	5,577	252	157.7	35,775	227
48	31.4	7,432	236	260.2	47,136	181
49	45.1	8,462	188	359.9	55,245	154
50	45.6	5,654	124	351.1	48,545	138
51	44.9	8,059	179	329.7	53,215	161
52	44.0	9,701	220	361.4	59,228	164
53	42.5	7,812	184	387.8	56,644	146
54	34.1	6,133	180	396.0	63,205	160
55	40.9	6,345	155	441.2	70,849	161
56	38.4	4,880	127	484.6	72,072	149
57	43.1	4,290	100	527.8	76,828	146
58	49.3	5,440	110	5,396	79,504	147

のであり，資源の増減については，まだよくわかつていないと述べられている。調査結果の解析によつて，生残率や漁獲率，自然死亡率等の推定が試みられ，生残率は，必ずしも低いとはいえないが，けつして高い値でない事を示している（真子，1957b；青山，1957 b）。これ等の推定値が，充分な精度のものでない事が理由となつているのであろうが，彼等は，資源の状態，管理の方策についての結論や提案は行なつていない。

資源の荒廃が叫ばれて始められた資源研究ではあつたが，その結果，“東海・黄海における底魚資源の研究，4”の内で，ある魚種（たとえばシログチ，真子，1957 b）については注意を要する事の指摘がなされてはいるが，かつて田内，笠原，山本等によつて強調された事が最近むしろ後退しているようにみえる点はみのがすことができない。田内，その外の人達の意見が，杞憂にすぎなかつたのであろうか。もう一度漁獲統計をみなおしてみよう。Table 5.8 は山本（1949a）からとつた，トロール漁業の漁獲量，曳網回数，及び1曳網当漁獲量である。1925 年以後1曳網当り漁獲量が増大しているのは，V.D. 式の導入や新漁場の開発による影響であろう。この値は 1931 年に最高に達し，その後 1940 年まで除々に下つている。1931 年と 1940 年で比較すると，約 23% 減ということになる。勿論一方において，漁具の改良や新漁場の開発がなされていたであろうから，実際においては，もつと減少したとみるべきかもしれないが，23% という数字は，けつして大きな数ではない。1930 年来曳網回数の減少がおこり，1938 年からさらに一段と減少したが，1曳網当り漁獲量は，1937 年で底をつき，1941 年にはかえつて増加して，1933 年以前の値にまで回復している。山本のデータでは，1942, 43 年の曳網回数が示されていないが，これに“東海・黄海における底魚資源の研究”（西海区水研，1953 b）の第 10–1 B 表の曳網回数を代入して，1曳網当りを求めると，1942～43 年においては，1922 年以来の高い値となる。

これを，山本の分類にしたがつて，主要魚種と雑魚にわけてみると，(Table 5.8)，主要魚種の 1 曳網当りは，1931 年に 182 貫の最高を示し，1940 年に 112 貫の最低となつた。この減少は 38% となり，全体での 23% に対して，かなり大きくなつている。一方雑魚は年々増加傾向を示し，特に 1941 年以後著しく高くなつている。山本の雑魚の中には，タチウオ，ハモ等の有用魚も含まれていると思われ，これ等の魚種は近年著しく多くなつていることが知られている。とにかく大正から昭和の初めにかけて，主要魚種であつたものが減少した事はたしかであるであるが，一方において，新らしく開発された，或は何等かの原因で資源の増大した新興魚種が，このあとをうめるような形になつているわけである。

第 5.10 表 以西底曳漁業魚種別 1 曳網当漁獲量（貫）
（真道，1956；以西トロール機船底曳網漁業漁獲統計要報より）

Table 5.10. Catch per of the trawl fisheries (kwan or 3.75 kg.).

	魚種 Species ＼ 年 Year	1947	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58
トロール Otter trawler	マダイ	6.8	1.4	0.7	0.4	0.3	4.1	7.1	7.7	3.0	0.7	0.4	1.0
	チコダイ	0.8	0.5	1.1	0.02	0.2	0.7	0.2	0.04	0.002	0.0008	0.04	0.003
	レンコダイ	2.8	3.2	0.9	2.2	0.9	0.2	0.04	0.02	0.01	0.01	0.04	0.05
	アマダイ	0.3	0.7	0.3	0.4	0.2	0.9	0.4	0.02	0.08	0.16	0.07	0.07
	イトヨリダイ	0.04	0.05	0.1	0.03	0.04	0.07	0.1	0.02	0.03	0.01	0.005	0.09
	ニベ	15.1	16.2	11.1	6.3	4.4	2.0	3.1	4.0	3.0	2.2	1.0	0.9
	クログチ	28.4	22.0	24.4	1.7	1.5	14.5	10.3	11.0	9.7	3.1	4.3	4.8
	シログチ	42.6	19.2	15.7	5.6	9.5	8.8	5.9	5.4	2.3	4.2	1.5	2.3
	キグチ	27.9	39.9	31.1	22.8	64.1	36.5	45.2	42.7	28.3	18.7	16.6	14.9
	エソ	5.1	2.6	4.8	3.6	3.1	1.6	0.8	0.8	1.5	0.9	0.6	0.5
	ホウボウ	2.6	1.6	1.1	0.2	0.6	0.3	0.4	0.2	0.5	0.4	0.3	0.3
	カナガシラ	1.1	25.4	13.1	0.3	7.3	1.1	1.8	5.3	2.3	3.1	3.8	2.0
	イボダイ	0.3	0.4	0.5	0.3	0.4	2.1	0.9					
	カレイ・ヒラメ	6.8	11.1	5.0	3.3	5.7	5.7	8.1	7.5	9.4	9.9	12.8	0.7
	フカ・サメ	12.7	8.1	4.0	2.2	2.6	3.8	2.4	2.4	1.6	1.0	0.8	0.8
	エイ	20.3	14.7	6.7	4.6	5.2	5.8	5.1	4.8	4.3	2.5	1.8	1.8
	タチウオ	25.4	20.2	17.2	16.5	30.3	97.7	59.7	48.2	51.5	29.4	21.3	26.8
	ハモ	4.1	7.6	10.0	7.0	4.6	7.7	13.0	11.7	6.3	8.5	5.6	8.1
	イカ	2.4	2.3	0.9	2.5	1.3	0.5	0.3	0.6	0.9	0.6	0.4	0.4
機船底曳 Two-boat trawler	マダイ	2.8	1.1	1.0	0.8	0.8	1.0	1.2	4.5	2.3	1.7	1.2	2.1
	チコダイ	2.2	1.1	0.9	0.7	0.9	1.2	0.5	0.3	0.2	0.07	0.3	0.14
	レンコダイ	35.5	16.0	9.7	7.8	5.6	4.9	4.6	3.6	3.1	3.0	2.8	9.0
	アマダイ	5.4	4.1	3.3	3.0	3.8	2.6	2.6	1.3	0.9	1.0	0.7	1.2
	イトヨリダイ	0.4	0.7	0.8	0.7	0.8	0.7	0.5	0.5	0.4	0.6	0.4	0.3
	ニベ	2.0	3.4	2.5	1.6	2.3	3.0	3.4	3.6	4.1	3.1	2.8	1.9
	クログチ	3.8	2.0	2.0	1.4	2.9	6.0	6.9	5.4	4.5	5.7	6.0	4.8
	シログチ	30.6	20.4	16.6	11.0	18.9	15.8	10.5	12.1	8.1	10.5	9.0	10.1
	キグチ	4.1	8.2	11.0	10.0	21.1	19.1	19.9	28.4	38.0	29.7	34.6	31.6
	エソ	14.9	12.2	12.6	13.4	12.8	11.5	11.0	10.6	10.1	9.1	7.9	8.4
	ホウボウ	1.4	3.0	1.3	0.6	0.9	0.8	0.7	1.1	0.6	0.4	0.4	0.5
	カナガシラ	18.7	17.6	14.9	11.4	8.4	8.4	9.3	8.1	6.8	5.3	4.0	4.7
	イボダイ	1.6	0.6	1.1	2.4	3.0	4.2	2.8					
	カレイ・ヒラメ	8.3	8.0	6.3	5.5	7.2	9.7	10.1	8.4	11.4	10.2	8.3	8.1
	フカ・サメ	12.9	8.7	6.5	5.0	4.3	5.5	4.4	4.4	4.2	2.8	2.7	2.2
	エイ	11.9	15.7	9.7	6.5	6.3	7.1	7.2	8.2	7.4	5.9	4.9	4.8
	タチウオ	0.8	1.1	1.1	1.6	2.6	3.7	2.4	4.3	4.8	7.8	8.6	9.5
	ハモ	1.1	5.5	5.0	5.4	5.5	8.7	7.9	9.7	11.1	9.8	11.1	12.0
	イカ	2.1	9.4	9.2	11.2	9.2	8.3	6.9	7.0	6.9	7.2	5.1	5.8

戦後については，前述のように，1947 年以来，“以西トロール機船底曳網漁業漁獲統計要報”（現在 No. 24 まで出ている）として，詳細な漁獲量，努力量統計が発表されている。年別の総漁獲量と努力量を示すと，Table 5.9 のようになる。これでみると，トロール漁業では，最近著しく 1 曳網当りが減少しているが，機船底曳の方では，漁業再開直後の 1947，48 年を除くと，その後目立つた減少傾向はない。そして，曳網回数の漸増につれて，総漁獲量も著しく増大している。現在，以西での漁獲量は，9 割以上が機船底曳網であげられているので，トロール漁業での 1 曳網当りのもつ意味はうすく，重視する必要はないであろう。とすると，戦後の以西底曳漁業では，全体としていえば，現在のところ過大漁獲とはなつておらず，一応安定しているという事ができよう。ただ真道 (1956) のいうように，魚種組成の著しい差異があり，1947 年と 1953 年の比較では，トロールと機船底曳網で多少異なるが，キダイ，シログチ，フカ・サメで漁獲量順位の転落が目立ち，かわつてタチウオ，ハモ，キグチが大きく上つている。1947～1958 年間の 1 曳網当り漁獲量 (Table 5.10) では，トロール漁業では，ほとんどの魚種で下り傾向が目立ち，1952 年のマ・ライン撤廃後でも，マダイ，ニベ，グチ類，エソ，フカ・サメ，エイ，タチウオ，ハモ等，主要なもので顕著である。一方機船底曳では，1952 年までは増減が目立つが，その後なお減少しているものには，カナガシラ，フカ・サメ等がみられるだけで，減少傾向があれほどさわがれたキダイやシログチでも，一応の安定状態を示している。先にものべたように，トロールの漁獲量は，タチウオ以外では，機船底曳にくらべて問題にならない量であるから，機船底曳網での傾向を重視し，又 1947～51 年の間は，戦争中の休漁による資源の蓄積や，マ・ラインの影響のために，正常の状態を示さないものとして，1952 年以後について考えると，現在以西の底曳資源はほとんどの魚種で安定しており，さらに若干の余裕のあるものもあるかも知れないという事になる。

1 網当りの漁獲量は，種々の要因によつて変動し，特に漁場の変化によつて著しく変つた値を示すことがある（木部崎，1956）。1 曳網当りの漁獲が 1952 年を境にしてはげしく変化している例（たとえば機船底曳網のクログチ，ハモ等）は，マ・ラインの撤廃によつて，漁場の変化したことをあらわしていると考えられる。だから 1 網当りの漁獲を用いる時には，特にこの点に注意しなければならない。木部崎 (1957) は，1952 年以後の漁獲量の変動で，漁場移動による面を，資源変動による面より大きくみているようである。トロールにおける 1 曳網当りの減少には，このことが一つの原因になつていると思われる。

1949 年当時叫ばれた資源荒廃の予想は，結果的にはあたらなかつたという事にもなるであろう。漁獲量の年々の変動傾向からみると，東海・黄海の底魚資源は，従来考えられていたよりも，もつと大きな生産力をもつたものであるらしいという事になる。そうであれば，以西の底曳漁業について，資源問題はないのであろうか？ 乱獲のおそれはないであろうか？ 漁業をより合理化する方策はないものであろうか？

もし現在の資源が安定しておれば，今すぐに何等かの手をうたねばならないという，緊急さはないであろう。しかし，現在の安定が低位での安定（過剰努力）*であるならば——その可能性は，少なくともいくつかの資源について考えられるのであるが——それをそのまま放置するということは，得策でないであろう。真子 (1957b) は，年令及び銘柄組成により生残率を推定したあとで，“特にグチ類などの場合，漁獲量の過半数が添加群によつて占められている現状であり，添加量の如何が漁況を決定するといつても過言ではないであろう”と述べている。いわゆる，芝，豆の漁獲量は，重量でいつても大きな割合をしめており，したがつて，尾数でいうと，非常に大きな数である。青山 (1953) は，網目を抜け出た魚が生き続けるものとすれば，成熟に達する最小の魚が抜け出す程度に網目を大きくしておけば，乱獲によつて加入量が減少することをふせげるし，又魚が大きくなつてからとるという目的を達することができる，と述べ，実際的な制限網目として，2.5 寸目を提案している。青山 (1955) は，さらに網目の問題を論じて，網目制限の効果をあげるとともに，魚種別で選択効果が異なり，網目制限の影響も異なるので，魚類相が変化し，その変化が我々に不利な方向

* 安定した漁獲量は，いろいろな資源の状態において実現される。しかし，その漁獲量が最大なものでなければ，資源の管理によつて，漁獲量を増加させ得る可能性がある。これは，2.3 の sigmoid 曲線の場合でも，又 2.5.3 で述べた Baranov 流の理論の場合でも同様である。

に向う可能性が強く，この点を慎重に考慮せねばならない，と述べている。

魚種によつて網目の効果が異なると同様に，魚種の分布と努力量の分布の関係によつて，同じ努力量でも，その効果は異なる。4.7.1 で述べたように，魚の分布と努力の分布の間に正の相関があると，同じ努力量でも，その有効度が高くなり，資源に与える影響は強くなる。だから，もし我々に有利な魚種組成というものがあるならば，空間と時間による選択によつて，魚種別に管理することも，必ずしも不可能ではない。今かりに，各魚種資源は，お互いに影響をおよぼすことなく混在しているとすると，各魚種はそれぞれの特性に応じて，それぞれある漁獲率の所で最大の漁獲量を与えるであろう。そして，その漁獲率は魚種によつて異なるはずであるから，もし各魚種に共通な漁獲率を加える時には，個々の資源に応じて別々の漁獲率を加える場合に比較して，漁獲量の上で，ある程度の無駄が生ずるはずである（3.3.2.3 及び Ricker, 1958 a)。その無駄の程度が大きければ，努力量の時間的，空間的分布を変えることによつて，魚種別に選択漁獲をすることを考える必要があろう（Holt, 1958)。

個々の魚種資源が，それぞれ独立に存在しているということはあり得ないであろう。魚種間の関係について，漁獲物の魚種組成の変化を通じて観察し（真道，1956，1957；真子，1956)，そのからくりを食性関係からあきらかにしていこう（池田，1957）という試みがなされている。これ等の研究は重要であり，将来の成果を期待するものであるが，現在まだ，これ等の研究結果を量的に魚種相互間の問題に取りいれる所までいつていないように思われる。とすれば，第1近似としては，各魚種資源がお互いに独立に存在していると仮定することは，やむを得ないことであろうし，この仮定の上に立つての検討はある程度意味のある事というべきであろう。

以上述べた事を要するに：

以西の底魚資源では，戦前において，一つ一つの魚種資源をとりあげると，著しく縮少してしまつたものも多いが，総漁獲量でみると，必ずしも減少が顕著であつたとはいえない。ただ魚種によつて，へつたものとふえたものがあるため，魚種組成の面では著しい変化がみられる。戦後何人かの人の警告にもかかわらず，努力量は著しく増大したが，漁獲量もほぼ比例して増大しており，戦後数年間におけるはげしい変動期をのぞくと，マ・ライン廃止後では，全体としても，又個々の資源についても，いくつかの例外を除いて，むしろ安定していると考えられる。しかし資源が安定しているからといつて，さしあたつて資源上の問題がないとはいえない。まず，現在の努力が，少なくとも一部の資源については過大である可能性が考えられる。小型魚を多獲し過ぎているという可能性は，多くの魚種について考えられる。さらに，努力量の配分の合理化によつて，よりよい資源の管理の実現の可能性もある。

以下において，これ等の可能性について検討することにする。まず最初に，比較的データのそろつているいくつかの魚種について，個別的に，過剰努力，小型魚の多獲の問題を検討する。そして，その中から出された結論にもとづいて，これ等の混合した資源を全体として管理することを考える。さらに合理的努力の配分について，一つの試算を示すことにする。

5.4.2 個々の魚種ごとの等漁獲量曲線

5.4.2.1 デ ー タ

魚種として，キダイ，ホンニベ，ワニエソ，シログチ，キグチ，クログチ，タチウオの7種を考える。これ等の魚種の漁獲量は，機船底曳網全漁獲量の約半分に達している（Table 5.11)。

まずこれ等の魚種の成長についてみよう。キダイの成長は Fig. 2.8 に与えられている（l は cm, x は年，以下同じ)。

$$l=60(1-e^{-0.1x})^{*} \qquad (54.1)$$

となる。ワニエソ，シログチ，キグチについては，真子(1959)がそれぞれ

---

* x の原点は，すべて $l=0$ の点におくものとする。

第 5.11 表 以西底曳網主要魚種漁獲量（以西トロール機船底曳網漁業漁獲統計要報より）

Table 5.11. Catch statistics of seven important species.
(1,000 貫((kwans))=3.75 tons)

	魚種 Species ＼ 年 Year	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	平均
機船底曳 Two-boat trawler	(1) キダイ	1,729	1,767	1,438	1,348	1,450	1,494	2,138	1,623
	(2) エソ	4,157	4,257	4,196	4,454	4,411	4,163	4,520	4,308
	(3) シログチ	5,716	4,053	4,774	3,577	5,073	4,760	5,467	4,774
	(4) キグチ	6,908	7,724	11,240	16,754	14,391	18,248	17,035	13,186
	(5) クログチ	2,178	2,656	2,102	1,966	2,777	3,180	2,594	2,493
	(6) ホンニベ	1,067	1,258	1,432	1,796	1,493	1,489	1,040	1,368
	(7) タチウオ	1,317	947	1,697	2,139	3,772	4,547	5,102	2,789
	計 Total	23,072	22,662	26,879	32,034	33,367	37,881	37,896	30,542
	全体中の % Proportion	39	40	43	45	46	49	48	45
	総漁獲量 Total catch	59,228	56,644	63,205	70,849	72,072	76,828	79,732	68,367
	曳網数 (1,000回) No. of hauls	361.4	387.8	396.0	441.2	484.6	527.8	539.6	448.4
トロール Otter trawler	(1) キダイ	7.1	1.7	0.6	0.6	0.3	1.9	2.3	2.1
	(2) エソ	71	35	28	63	33	24	25	40
	(3) シログチ	387	251	184	96	160	66	115	180
	(4) キグチ	1,606	1,921	1,457	1,158	719	714	735	1,187
	(5) クログチ	638	437	376	396	120	184	238	341
	(6) ホンニベ	90	115	135	124	85	43	45	91
	(7) タチウオ	4,301	2,539	1,645	2,104	1,129	920	1,323	1,994
	計 Total	7,100	5,300	3,826	3,942	2,246	1,953	2,483	3,836
	全体中の % Proportion	73	68	62	62	46	46	53	61
	総漁獲量 Total catch	9,701	7,812	6,133	6,345	4,881	4,290	4,727	6,270
	曳網数 (1,000回) No. of hauls	44.0	42.5	34.1	40.9	38.4	43.1	49.3	41.8

第 5.12 表 クログチの成長

Table 5.12. Growth of black croaker, *Argyrosomus nibe*. (See also Fig. 5.23).

著者 Authors	種別	体長 Body length (cm)						
劉・陳 (1954) Liu・Chen	体長 Body length	8.65	15.76	21.43	26.03	(29.5) 28.63	32.26	34.34
松井・網尾 (1951) Matsui・Amio	体長 Body length		14.7	22.0	26.3	28.6	31.5	36.4
木部崎・真子 (1957) Kibesaki・Mako	全長 Total length	11	17	23				

注：（ ）は，原著者が Walford の定差図によつて補正した値。劉等と松井等では第1輪がずれているので，一つずつずらせて体長を合せた。木部崎等の値は，原著 Fig. 7 によつて，輪形成時（3～7月）の全長を求めて示した。

$$l=60.98(1-e^{-0.3282x}) \qquad (54.2)$$

$$l=33.64(1-e^{-0.4781x}) \qquad (54.3)$$

$$l=30.81(1-e^{-0.3977x}) \qquad (54.4)$$

と推定している。

クログチについては，BERTALANFFY の式の係数を与えているものはないが，劉・陳(1954)は，輪形成時の体長を求め，WALFORD の定差図を画くと，直線になることを示している。松井・網尾(1951)も輪形成時の体長を求めている。木部崎・真子(1957)は，体長組成と輪の観察から，特に若令魚の成長を推定している。以上の結果を一覧にすると，Table 5.12 のようになる。これ等の数値によつて定差図を画くと，Fig. 5.23 のようになる。劉•陳の成長はほとんど完全に直線上にのつているので，これから係数を求めると，$l_\infty=43$ cm, $K=0.25$ となる。他の二つの成長は，この成長と大きなちがいはない。だから，クログチの成長曲線として

$$l=43(1-e^{-0.25x}) \qquad (54.5)$$

とおくことは，さほど無理のないことであろう。

ホンニベの成長は最首 (1955, 1957) によつて示されている。今最首の図 (1957, 6-5 図) から年々の体長をよみとると，A_1 群で 26, 40, 51, 57, 60, 63 cm となり，A_2 群では 22, 36, 46, 51, 54, 57 cm となる。これで定差図を画くと，Fig. 5.24 となる。A_1, A_2 群ともほぼ直線的で，しかも傾斜もだいたい等しい。直線をあてはめて係数をさだめると，両群について，

$$\left.\begin{aligned} A_1&: l=66(1-e^{-0.5x}) \\ A_2&: l=60(1-e^{-0.5x}) \end{aligned}\right\} \qquad (54.6)$$

となる。

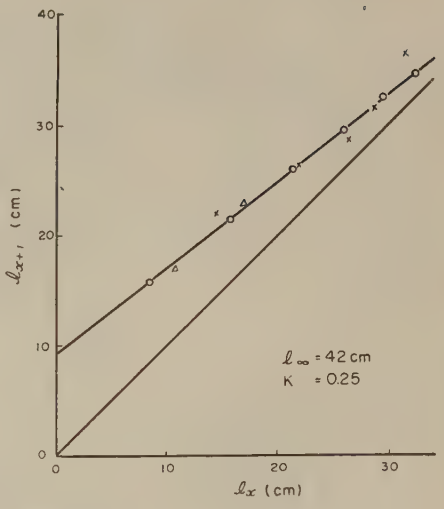
タチウオについては，松井・高井(1952)，三栖(1958)の研究があり，両者の結果ではかなりくいちがつている。三栖は WALFORD の定差図を用いて，成長式の係数を求めている。これによると，肛門長で

$$l=45.55(1-e^{-0.6665x}) \qquad (54.7)$$

となる。ここでは三栖の結果を，尤もらしいものとして用いることにしよう。

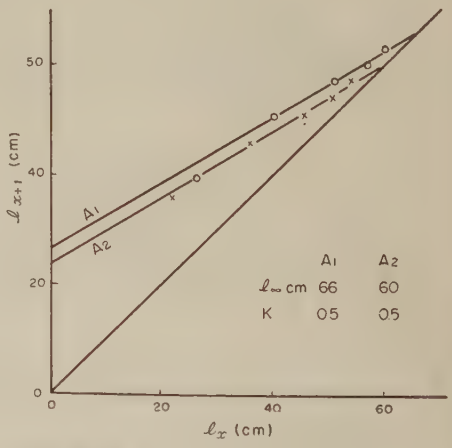
以上求めた係数を用いて各魚種の成長曲線を画くと，Fig. 5.25 のようになる。ある魚種については，パラメタの値を非常にくわしく出しているが，ここでは，これをまるめて，Table 5.13 に示す値を用いてある。なお，漁獲量の計算では，l_∞ は利用しない。

次に年令範囲を求めよう。最高年令としては，発見された最高年令が一つの目安になる。最首 (1957) によると，この最高年令は，ワニエソで 7 才，ホンニベで11才，



第 5.23 図 クログチ体長の WALFORD の定差図

Fig. 5.23 WALFORD's finite differences diagram for black croaker, *Argyrosomus nibe*. Sources of data:— ○: LIU and CHEN ×: MATSUI and AMIO △: KIBESAKI and MAKO (See also Table 5.12).



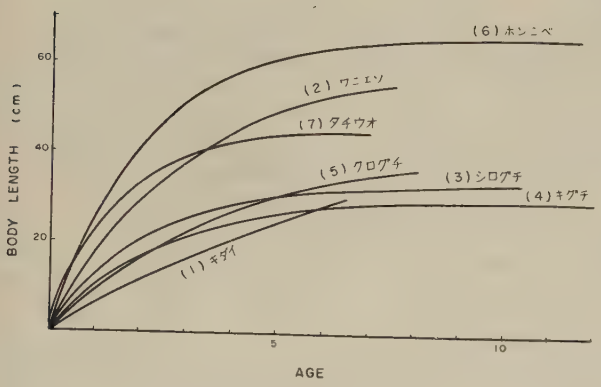
第 5.24 図 ホンニベ体長の WALFORD の定差図

Fig. 5.24 WALFORD's finite differences diagam for a croaker, *Miichthys imbricatus*.

第 5.13 表 計算に用いたパラメタの一覧表

Table 5.13. Parameters applied to the calculation of catch.

魚種 Species	学名 Scientific name	l_∞ (cm)	K	x_c	x_d	ξ_c	ξ_d	Z	M	Z'	M'	F'
(1) キダイ	*Taius tumifrons*	60	0.1	1.7	6.0	0.17	0.6	0.94	0.3	9.4	3.0	6.4
(2) ワニエソ	*Saurida tumbil*	61.0	0.33	0.8	7.3	0.26	2.4	0.75	0.3	2.3	0.9	1.4
(3) シログチ	*Argyrosomus argentatus*	33.6	0.48	1.3	10.0	0.62	4.8	0.81	0.2	1.7	0.4	1.3
(4) キグチ	*Pseudosciaena manchurica*	30.8	0.40	2.0	12.0	0.80	4.8	0.69	0.2	1.7	0.5	1.2
(5) クログチ	*Argyrosomus nibe*	43	0.25	1.7	8.0	0.42	2.0	1.0	0.25	4.0	1.0	3.0
(6) ホンニベ	*Miichthys imbricatus*	{66 60	0.5	1.2	12.0	0.60	6.0	0.6	0.2	1.2	0.4	0.8
(7) タチウオ	*Trichiurus lepturus*	45.6	0.67	0.5	7.2	0.33	4.8	1.0	0.3	1.5	0.45	1.05



第 5.25 図 魚種別の成長曲線

Fig. 5.25 Growth curve by species of fish. For names of fish refer to Table 5.13.

キグチ11才である。真子 (1957b) によると，シログチは少なくとも 9 才までみられる。田中 (1956b) は，キダイについて 6 才魚までみとめている。クログチについては，劉・陳は 7 輪まで，タチウオについては，三栖は満 7 年近くまでみている。これ等はいずれも生物学的最高年令の，考え得る最低値を示すものであるが，高令においては一般に自然死亡が高くなると考えられるから，ここで仮定すべき年令の限界は，生物学的最高年令よりやや低めにとるべきであろう (3.2.3 参照)。多くの場合，高令魚は非常に数が少なく，漁獲物中での比重は軽いので，最高年令の誤差は，全体にさほど影響しない。したがつて，x_d としては，Table 5.13 に示したように仮定してもさしつかえないであろう。なお，Table 5.13 では，計算の都合で，x_d としてははんぱな数値が与えてある。

漁獲最小年令 x_c は，体長組成と Fig. 5.25 に示した成長曲線とから求められる。約半分が資源に加入したと思われる体長 (このことの意味については 3.2.1.1 参照) を，キダイで約 10 cm，ワニエソ，シログチで約 15 cm，キグチで約 17 cm，クログチで約 15 cm，ホンニベで約 30 cm (以西底魚資源調査研究報告，西海区水研，に示されている体長組成による)，タチウオについては (松井・高井，1952) 15 cm とおくと，Table 5.13 に示したような数値が得られる。

次に自然死亡係数及び漁獲係数を求めなければならない。残念ながら，今の所これ等について必ずしも充分な数値が出されているわけではないが，一部推定されているものもある。真子 (1957b) は，年令或は銘柄組成から，ワニエソ，ホンニベ，シログチ，クログチ，キグチ，キダイについて生残率及び，一部については自然死亡率の推定を行なつている。青山 (1957b) は，漁獲量の変動から，生残率等の推定を試みている。松井・網尾 (1951)，劉・陳 (1954) は，クロブチの年令組成から生残率を求めている。Table 5.14 には真子の与えた数値，及び松井等，劉等の数値が示してある (共に率を係数に換算して)。同表には，真子が田内 (1956) にならつて求めた自然死亡係数 (率より換算) も示してある。

タチウオについて生残率を計算したもの，或は年令組成を求めたものはない。幸に成長曲線がわかつているので，松井・高井 (1952) の与えた体長組成が手がかりとなる。松井等の体長組成の各月分を加え合せ，マイワシについて行なつたと同様にして (5.2.2 参照)，成長曲線によつて，年令組成に換算すると，Fig. 5.26

第 5.14 表 Z 及び M の値（真子，1957 b その他より）
Table 5.14. Various estimates of Z and M.

魚種 Species	Z	M	x_d	$M^{5)}$
(1) キダイ	0.94	—	6	0.42
(2) ワニエソ	0.75	0.29	6	0.42
(3) シログチ	0.81[1)]	—	10	0.25
(4) キグチ	0.69	0.14	12	0.20
(5) クログチ	0.36[2)] 1.53[3)] 1.34	—	8	0.29
(6) ホンニベ	0.60	0.15	11	0.23
(7) タチウオ	1.40 0.65[4)]	—	7	0.36

註 1) 真子の五つの値の平均
2) 松井・網尾 (1951)
3) 劉等 (1954) 原著では $S=45\%$ ($Z=0.8$) としているが，I 輪群から II 輪群への値のみが特に高いので，これを除いて計算すると，

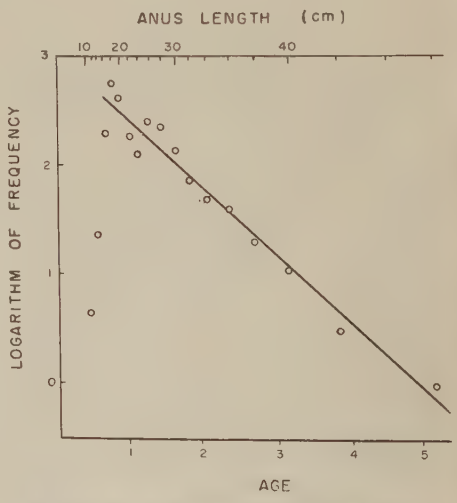
$$S=\frac{871}{4,009}=0.217$$

となり，$Z=1.53$ を得る。
4) 田中の計算，上段，松井，高井 (1952) より，下段，三栖 (1958) より。
5) Fig. 5.27 によつて計算した値。
5) Calculated from Fig. 5.27.

のようになる。体長 17 cm 以上について直線をあてはめて Z を推定すると，1.40 となる。生残率であらわすと，24.7% となる。タチウオの年令組成を知るもう一つの手がかりは，三栖(1958)が，成長測定用に用いた個体の輪群組成である。この著者は，これによつて年令組成を知ることを目的としていないようであるから，標本抽出が適当であつたかどうか疑わしいが，2 輪群以上について生残率を求めると，475/915=52%，Z にして 0.65 となる。体長組成から求めた値と比較して，Z の値は著しく低い。これ等の値も Table 5.14 に示してある。

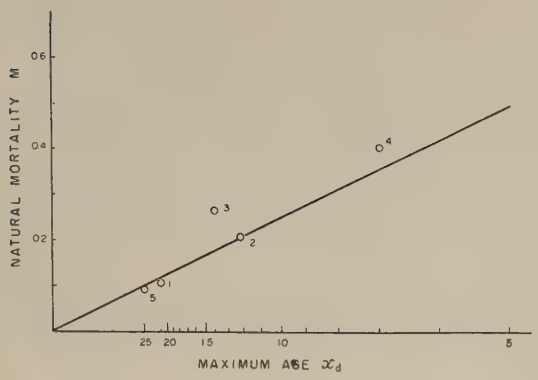
自然死亡を推定するのは大変やつかいな問題であり，したがつて，自然死亡が正確に推定されたと思われる魚種は非常に少ない。田内(1956)は，もし魚の生存曲線の型 (Odum, 1953, Fig. 29 参照) が魚種によらず一定だとすると，自然の状態における死亡係数が，寿命の逆数に比例するはずだという考えから，ある魚種について自然死亡率が知られている場合に，これを未知の魚種に換算する方法を考えている。真子 (1957b) は，この方法によつて，マダイの自然死亡から他の魚の自然死亡を求めたわけである。これはたしかに一つの考え方であつて，もしこの法則がみとめられるならば，非常に有用である。

North Sea の plaice と haddock については，長



第 5.26 図 成長曲線によつて体長組成から変換したタイウオの年令組成

Fig 5.26 Age composition of *Trichiurus lepturus* converted from length composition by using growth curve.



第 5.27 図 寿命と自然死亡の関係
(1) North Sea, plaice
(2) 同上, haddock
(3) British Columbia, lemon sole.
(4) California, sardine
(5) 瀬戸内海, マダイ

Fig. 5.27 Relation between length of life span and natural mortality. (1) North Sea, plaice. (2) North Sea, haddock. (3) British Columbia, lemon sole. (4) California, sardine. (5) Inland Sea, Japan, red porgy, *Chrysophrys major*.

い調査研究の歴史の中で，自然死亡係数のだいたいの値が得られている (Beverton and Holt, 1957)。これ等は，それぞれ 0.1 及び 0.2である。寿命については，Beverton and Holt は，plaice について 21 才まで示しており，又 Gulland (1955) の示した haddock の年令組成では，12 才までみられている。Ketchen (1953, 1956) は，British Columbia の lemon sole について，漁獲のはじまつた当初の年令組成から，自然状態での生残率を 77% と推定しているが，これは $Z=0.26$ に当る。Lemon sole は少なくとも 14 才までみとめられている。California の sardine は 6～7 才まで漁獲の対象となつているが，自然死亡率は約 1/3 (Clark and Marr, 1955)，即ち $Z=0.4$ 程度である。田内が基準にしているマダイでは，$x_d=25$, $M=0.09$ となつている。以上五つの値によつて，最高年令 x_d の逆数に対して，Z の値をプロットすると，Fig. 5.27 となる。この外に，北海道のニシンについて，石田 (1952) は，10～15 %と考えており，又最近の年令組成をみると，最高年令は 20 才に近いと考えられる。10～15% の率は，M の値にして，0.1～0.16 であるから，他の魚種と比較して，だいたい合つている。以上の結果からみると，田内の方法は，利用価値のあるように思われる。そして，基準の値として，$x_d=10$ で $M=0.25$ という値（図中の直線）をとることは，妥当なように思われる。Lemon sole の例では，この直線よりやや高いが，これは，開拓期における漁獲がかたよつていたためか，或は，漁業が強化されると自然死亡が減少するためかもしれない。この基準の直線によつて，先にあげた魚種のそれぞれについて，自然死亡を求めてみると，Table 5.14 のようになる。真子の与えた数値よりかなり高くなる。

Table 5.14 に示した全死亡係数，及び自然死亡係数をそのまま用いる前に，一応吟味してみる必要があろう。Z の値として，クログチ，タチウオ以外の値は，一応尤もらしいものとして受入れてもよいであろう。1 網当漁獲量 (Table 5.10) で減少傾向の強かつたキダイ，シログチで高く，減少傾向のみられなかつたキグチで低くなつている。減少傾向のそれほど強くないワニエソでは，中間的な値となつている。ホンニベについては，1956 年以来目立つて 1 網当りの漁獲が下つているが，ここで生残率を求めたデータが，それ以前のものである点を考慮すると，その Z の値の低い事もうなづける。

クログチについては，トロールはともかくとして，機船底曳網の方では，減少傾向がみられない。にもかかわらず，真子の求めた Z の値，或は劉・陳の求めた値は著しく高い。青山 (1957b) の推定では，年間生残率が 36～43%，Z になおして，0.9 程度であり，はるかに低い。年令組成にかたよりがあるのではないかと想像される。一方，松井・網尾の出した生残率は著しく高いが，これには，年令組成のかたより（漁場のかたよりによる）もあるであろうし，又計算の仕方にも問題がある。今松井等の Table 4 によつて，南部については 4 才以上，中部については 3 才以上，北部については 5 才以上について，別々に生残率を求めると*，それぞれ，0.53, 0.4, 0.60 となり，だいたい 50% 前後である。Z の値としては 0.7 程度となる。

* 南部 $\frac{2+5+3}{12+2+5}=\frac{10}{14}=0.53$, 中部 $\frac{1+2+1}{6+1+2+1}=\frac{4}{10}=0.4$, 北部 $\frac{14+4}{16+14}=\frac{18}{30}=0.60$

このデータは 1948 年のものであるが，その当時と 1952 年以後で比較すると，機船底曳網の曳網回数（有効努力ではない）で約2倍，漁獲量で約5倍にもなつており，最近生残率が 50% よりかなり下つていても，別に不思議はない。ごく大ざつぱにいつて $Z=1$ と仮定することもできよう。

タチウオについては，最近トロールでの漁獲は減少したが，機船底曳の漁獲量が増加しており，1網当りも増加傾向にある。トロールでの1網当りの減少について，三栖(1958)は，漁場の変化の影響を考えており，いずれにしても，資源減少のきざしはなく，むしろ増加傾向にあると考えてよかろう。この増加が加入量の増加によつてもたらされたものとすると，松井・高井のデータの得られた 1950 年当時，高令魚より若令魚が相対的に多くなつていて，死亡係数が過大に評価されていたということはありそうなことである。もつとも，三栖のデータは，1954～56 年のもので，1956年 のデータが最も多いから，1956 年以後，機船底曳での1網当りの漁獲が急に上昇していることから考えると，三栖の組成でも，もつと小型魚が多くなつてもよさそうに思われる。或は，成長を見る目的で，大型魚を多く集めたためかもしれない。タチウオの場合も，ごく大ざつぱに，$Z=1$ と仮定するのがよかろう。

自然死亡について検討するには，外敵の量が一つの材料になろう。西海区水研(1953)，池田(1957)は，それぞれ食性について述べているが，キダイは他の魚に食われた例がないという以外，いずれも多かれ少なかれ，他の魚又は同種の魚に食われている。しかしその数量については明らかでない。又これ等の報告では，餌の大きさについてはふれていないが，一般に若令の小型魚が多いと想像される。そうすると，ここにあげた魚種で，20 cm 以上に達したものでは，あまり食害の影響をうけないかもしない。いずれにしても，外敵の点からは，M の値について充分検討するほどのデータがないといえる。 キダイやエソは，みかけ上マイワシにくらべて，はるかに強そうに思われる。しかし，最高年令が若いという事で，M の値は 0.4 以上と非常に高くなつている。もしここで，これ等の魚種（いずれも東海の大陸棚周辺に近く分布する）で，高令魚が漁場外に出てしまうものだとすると，x_d の値はもつと高くとらなければならないことになる。それに，pessimistic に漁業の影響をみるためには，M の値を低めにおいておく方がよい。

以上の事を考慮しながら，計算に用いるべき Z, M の値を，Table 5.13 に示すように仮定することにした。これ等の値は，それぞれ K で割つて，Z', M' に換算される。 $F'=Z'-M'$ である。

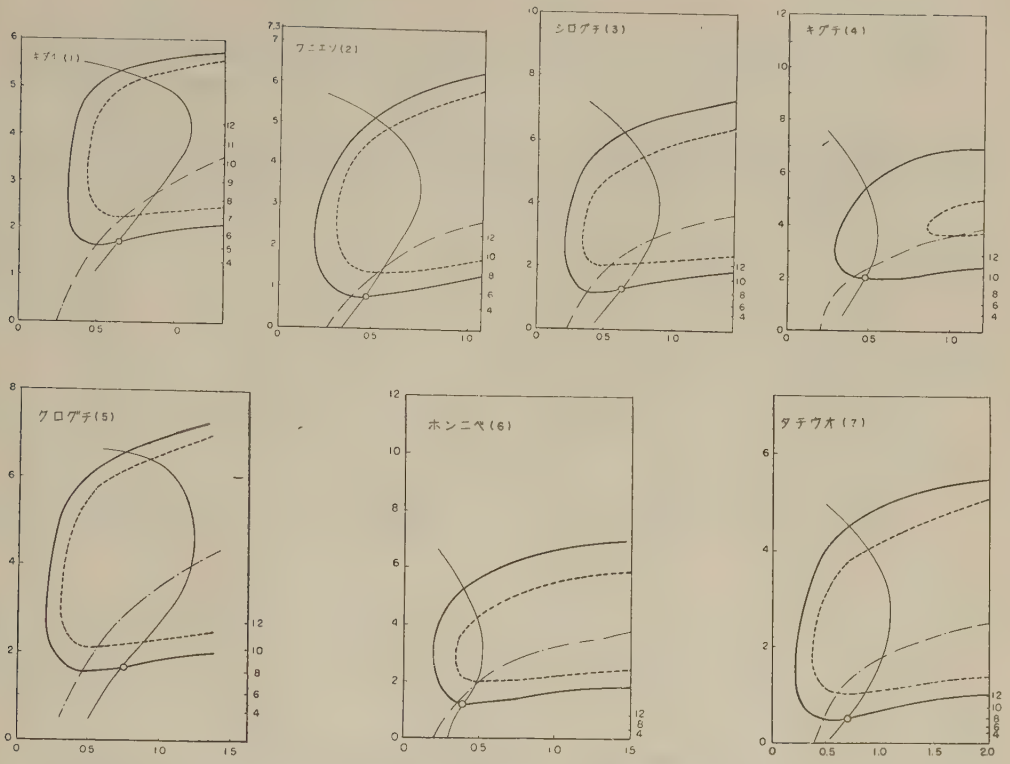
5.4.2.2 等漁獲量曲線図

(25.31)式によつて，ξ_d, M' をパラメタとして，ある ξ_c, F' に対して漁獲量（相対値）を計算し，現在の ξ_c, F' における漁獲量と等しい漁獲量の得られる点（F', ξ_c'）をむすんでみると，漁獲量が現在より多くなる領域がわかる。又 Kesteven and Holt(1955) にならつて，努力当漁獲量（実は相対的漁獲量を F' で割つたもの）が現在値と等しくなる点をむすぶと，現在よりも努力当漁獲量の多くなる領域がわかる。

Table 5.13 にかしたデータによつて，これを求めた結果を Fig. 5.28 に示す。図中両等量線にかこまれた中央の部分が，漁業の状態の改善される領域をあらわしている。例によつて等量線の方向に注目すると，7魚種すべてについて，ほとんど水平の方向となつている。厳密にいうと，量的な差はあるが，すべての魚種で，現在の F の値は過大となつており，したがつて，等量線はやや右上りの傾向にあるが，これは自然死亡の推定誤差の影響をうけやすく，又量的にいつてもあまり問題とならない。したがつて，努力量については，あまり変更を要するとはいえない。一方，最小漁獲年令をひきあげることは，かなりの効果が期待される。Fig. 5.28 には，漁獲量の2割増の線を点線で示してある。これでみると，キグチを除いて，x_c を半年乃至1年大きくすることによつて，この2割増が得られることがわかる。さらにホンニベ以外では，2割以上の大巾の増加も可能とみられる。勿論キグチにしても，x_c の引上げは，悪い方向にはむいていない。すべての魚種について，x_c の引あげは，努力当漁獲量の増大をもたらす。 ある x_c に対して，漁獲量が最大になる F の値は，Fig. 5.28 中に鎖線で示してある。x_c が大きいほど，このような F の値も大きくなるので，x_c を増加させることは，現在の F の値が最適な F の値に近づくことを意味する。

5.4.3 魚種ごとの結果の総合

今ある変化を漁業に与えた時に，それぞれの魚種は，それぞれの反応を示すが，この事をよりわかりやす



第 5.28 図　魚種別の等漁獲量曲線。横軸：漁獲係数 F，縦軸：漁獲最小年令，太線：等漁獲量曲線，点線：同 2 割増の点，細線：等努力当の曲線，鎖線：ある網目の時に漁獲量の最大となる F の値。　○印は現在点。縦軸の右辺のスケールは対応する網の目合 (cm) を示す

Fig. 5.28　Isopleth diagrams by species of fish. Abscissa: F. Ordinate: x_c. Thick line: contour line of yield. Dotted line: contour line of yield increased 20 % more than present level. Fine line: contour line of equal catch per unit effort. Chain line: F which provides maximum catch under a certain mesh size. ○: present point. Scale on right side shows mesh size (cm.) corresponding to x_c on left side. For names of fish refer to Table 5.13.

くするには，Fig. 5.28 の 7 つの図を一枚の図として重ね合せればよい (Holt, 1958)。そのためには，両軸をおたがいに比較可能な標準の尺度に換算する必要がある。この事は，横軸を実際の努力量，縦軸を網目であらわすことによつて行なうことができる。これを実際に行なうには，横軸については，$F=0$ の点，及び現在の F の点を，すべての魚種について重ね合わせればよい。縦軸については，網目の選択曲線を知らねばならず，多少やつかいになる。

3.2.1.1 で述べた事によつて，選択率 50% の点をもつて x_c をあらわすものとしよう。そうすると，いろいろな網目について選択率 50% の魚体の大きさがわかれば，成長曲線によつて年令に換算し結局網の目合と年令を対応させることができる。網目の選択性については，青山の研究 (1957a, 1959) がある。その結果を要約すると，Table 5.15 のようになる。これを，横軸に目合，縦軸に体長をとつて図にあらわすと，Fig. 5.29 となる。この図では，上下の線で選択域の上下限をあらわし，又○印は 50% 点の推定値をあらわしている。下限値は，実験中に得られた最小値であり，かなり変動がはげしいが，上下限ともだいたい目合に比例して大きくなるとみてよかろう。Beverton and Holt は，50% 点は網目の大きさに比例するこ

第 5.15 表 網目の選択性（青山，1957 a，1959 より）

Table 5.15. Selectivity of mesh size of the trawl fisheries. (See also Fig. 5.29).
(体長，Body length : cm)

網目 Mesh size	選択域 Range of selection	キダイ (1)	ワニエソ (2)	シログチ (3)	キグチ (4)	クログチ (5)	ホンニベ (6)	タチウオ (7)
60 mm	最小 Min.	8	7.0	10.0	8.0	8.5		7.5
	最大 Max.	(15～20)	23.5	17.5	13.0	18.5		24.5
	50%点 Point		17.5	10～10.5	10～10.5	9.5		11～12
76 mm	最小 Min.	10	12	9	11	12		
	最大 Max.	21	34	23	21	24		
	50%点 Point							
91 mm	最小 Min.	11	10	7	9	7		
	最大 Max.	>25	38	28	>20	26		
	50%点 Point							

（ ）内は図より推定。

とを，plaice 及び haddock について示しているが，ここでもこの傾向をみとめてよいであろう。Buchanan-Wollaston (1927) のように網目の選択曲線が正規分布函数であらわされるものとすると，50% の点は上下限の中央にくることになる。青山のあたえている 50% 点は，だいたい中央にある* ので，一応信頼できる数値とみてよかろう。

先に仮定した最小漁獲体長を，水平の点線で示した。現在使用されている網目は，だいたい目合 2 寸以下である（青山，1959）が，これを 2 寸（60 mm）とすると，50% 点は，ワニエソでは点線より高く，グチ類，タチウオではかなり低い。キダイでは，ワニエソと同様高めのようにみえる。ここでも目合を 1.8 寸 (54 mm) とすると，ワニエソの値はかなり点線に近くなる。それで，1.8 寸でちょうど $l_c=15$ cm となるように直線をひくと，60 mm で 16.5 cm となる。ワニエソについての目合と l_c の関係を cm 単位で，

$$l_c=\frac{16.5}{6}\times(\text{目合}) \tag{54.8}$$

とおくことにする。キダイについても，1.8 寸目で 10 cm となるようにすると，

$$l_c=\frac{11}{6}\times(\text{目合}) \tag{54.9}$$

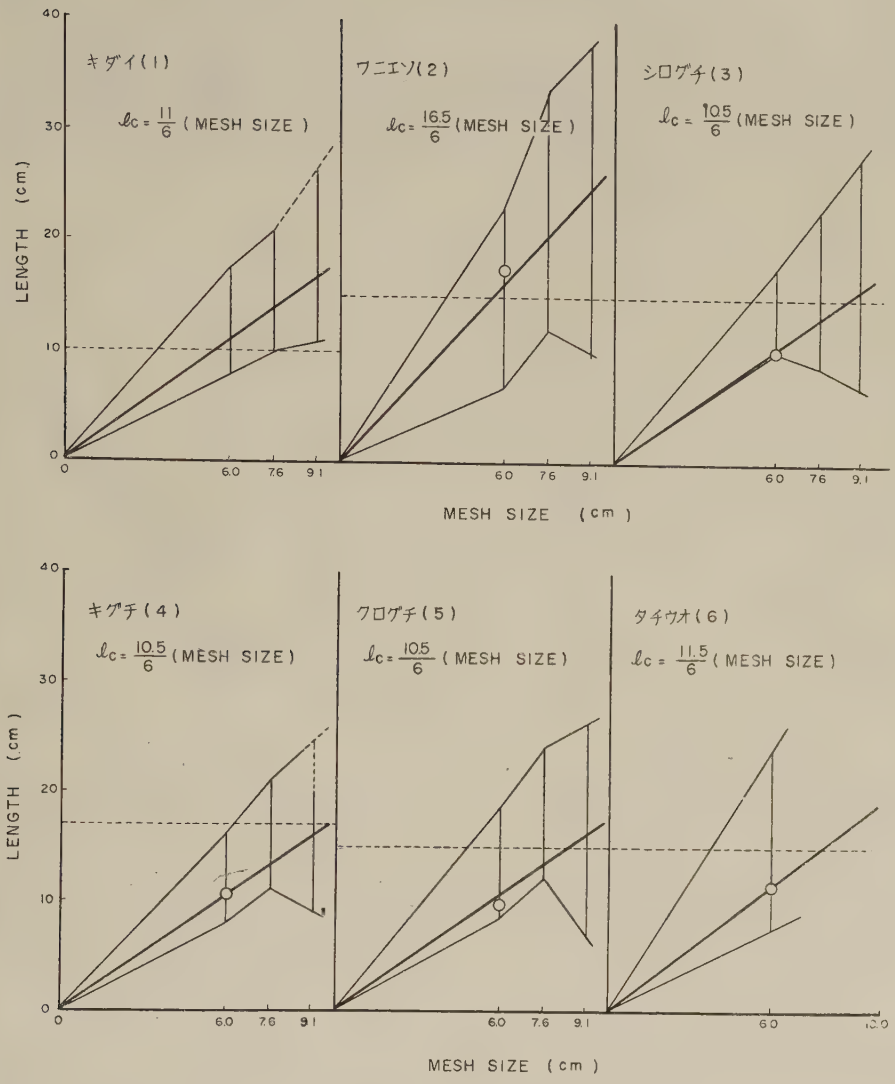
となる。

シログチ，キグチ，クログチ，タチウオについて，青山の推定が水平な点線より低いことは，小型魚の分布域から説明されよう（岡田，1957；真子，1957a）。これ等の魚種の産卵場は，朝鮮，中国大陸の沿岸部にあり，幼稚魚は日本の漁場の外にいるものと考えられる。だから，網目を小さくしても，漁場内に充分加入していないために，漁獲されないものと思われる。一方キダイ，ワニエソについては，漁場内に充分小型魚が分布していると思われる（青山，1959）。

これ等の魚種の 50% 点は，青山の推定にもとづいて，シログチ，キグチ，クログチ，ホンニベについては，

$$l_c=\frac{10.5}{6}\times(\text{目合}) \tag{54.10}$$

* グチ類では，91 mm 目合での下限が最小になつているが，これは，60 mm, 76 mm 網の試験の際に，このような小型がその漁場にいなかつたためと考えられる。60 mm, 76 mm では 50% 点が下によりすぎているが，91 mm を基準にとると，ほぼ中央といつてもよかろう。



第 5.29 図 魚種別の網目による選択性の変化。
細線：選択域の上下限，水平の点線：体長組成より求めた実際の x_c，
○印：6.0 cm 網目について推定された 50% の選択点，太線は計算に用いた目合と x_c の関係
(Table 5.15 参照)

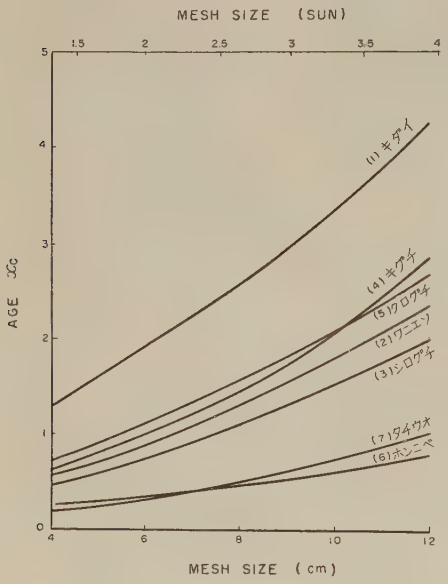
Fig. 5.29 Selectivity of mesh by species of fish. Fine line : upper and lower limits of selection range. Horizontal dotted line: x_c estimated from length composition. ○ : 50% selection point observed by 6.0 cm mesh size. Thick line : assumed relation between mesh size and x_c used for calculation. See also Table 5.15. For names of fish refer to Table 5.13.

タチウオについては，

$$l_c=\frac{11.5}{6}\times(\text{目合}) \tag{54.11}$$

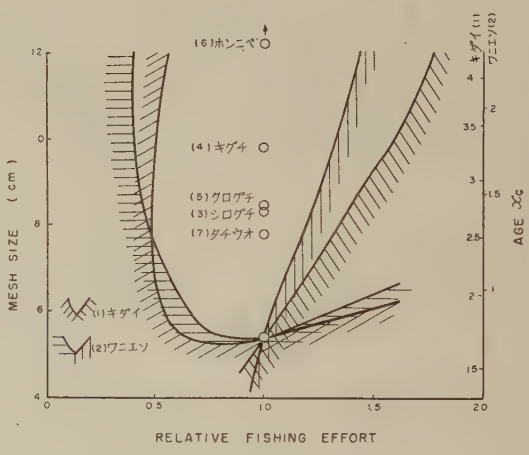
とおくことにする。これ等の直線は，Fig. 5.29 中に示してある。

網の目合と l_c の関係，及び年令と体長の関係（Fig. 5.25）によつて，目合と年令の関係を求めると，Fig. 5.30 となる。この図によつて，Fig. 5.28 の縦軸を目合に換算し，又横軸については，現在の F を重ね合せると，Fig. 5.31 となる。この図では，7 魚種全部を重ねると，混雑してみにくくなるので，キダ



第 5.30 図 網の目合と年令との関係。成長曲線及び網目の選択性（Fig. 5.25, Fig. 5.29）より計算

Fig. 5.30 Relation between mesh size and x_c. Computed from growth curve (Fig. 5.25) and selectivity of mesh size (Fig. 5.29).



第 5.31 図 努力量及び網目合に対して示した等量線図。キダイ，ワニエソ以外については，現在点のみを示す。ホンニベの現在点は，図に示した点よりはるかに高くなる

Fig. 5.31 Isopleth diagram illustrated against fishing effort and mesh size. For other fishes than (1) and (2) only the present points are shown in the figure. For names of fish refer to Table 5.13.

イとワニエソを例として示し，他の 4 種については，現在点のみを示した（Fig. 5.28 中に目合の尺度も示してある）。なお，ホンニベでは，現在の x_c に対して，相当目合が 12 cm よりさらに大きくなる。Fig. 5.31 で，上側に開いた扇形の部分が，キダイ，ワニエソに共通に，漁獲量及び努力当漁獲量の改善される領域である。シログチ，キグチ，クログチ，タチウオで現在点が，現在用いている目合よりはるかに高くなつているのは，先に述べたように，これ等の魚種では，漁場へ加入する年令 x_r が高く，目合の影響をあまりうけていないためと考えられる。したがつて，これ等の魚種では，目合をこの水準にまで変化させないかぎり，漁獲量の上であまり影響がないであろう。

5.4.4 等量線図による解析からの結論

5.4.2.2 及び 5.4.3 で示した等量線の解析で得られた結果をまとめると，次のようになるであろう。

i) 現在点における等量線の方向は，ほぼ水平であり，したがつて，努力量を変更させることなく，最小漁獲年令 x_c を引あげる事が最良の方法であると考えられる。x_c を固定して F を変化させても，漁獲量の増減はほとんどない。

ii) キグチでは，x_c の変更によつて，せいぜい1割余りしか増加しない事になるが，他の魚種ではキダイ，ワニエソ，クログチ，タチウオでは約半年，シログチ，ホンニベでは約1年引あげる事によつて，約2割の増加がみこまれる。

iii) キダイ，ワニエソではそれぞれ約 7 cm (2.3 寸)，8 cm (2.6 寸)目にすると，2 割増となるが，他の魚種では，現在 x_c には，網目より漁場への加入年令が主としてきいているらしいので，そうとう大巾な網目増加を行なわないと，2 割増とはならない。一応その数字をあげると，シログチ 12 cm (4 寸)，クログチ 10 cm (3.3 寸)，ホンニベ 23 cm (7.6 寸)，タチウオ 12 cm (4 寸) となる。

iv) 網目を現在の 5.4 cm (1.8 寸) から 7.6 cm (2.5 寸) に引上げたとすると，キダイで約 35%，ワニエソで約 18% の漁獲増となるが，他の魚種では，漁獲量の変化はない。

以上の結果は，いずれも仮定の上に立つてのものである。これ等の仮定のうちで最も問題となるのは，自然死亡係数 M, 漁獲係数 F の値及び最小漁獲年令 x_c の値についてである。ここでは，5.2, 5.3 で行なつたように，自然死亡をいろいろ変化させてみるようなことはしなかつたが，M, F, x_c の誤差は，当然結果に誤差をおよぼす。又網目の選択についての数値も，誤差の大きなものであろうから，x_c の網目への換算にも，誤差がかなりふくまれているであろう。しかし，等量線図から得られた結果は，あまりにも明瞭である。F や M, 或は x_c の推定値の誤差が，たとえかなり大きくても，F の変化の影響は少なく，x_c の引上げが最も効果的であるという結果は変り得ないであろう。そして，漁場内で多数の幼稚魚のみられる魚種(たとえばキダイなど)では網目の拡大が効果のあることは当然だけれども，幼魚が漁場外にある場合，網目の縮少が全くナンセンスであることは勿論，網目の拡大も効果的とはいえない。キダイ，ワニエソ以外について，この傾向のあることは，いたずらに網目制限を行なつても，意味の少ないことを示している。

網目を拡大することは，一時的な損失を除くと，ここにあげた7魚種全部，そして，ここにあげなかつた他の多くの有用魚についても，悪いことではないであろう。とすると，網目制限はとるべき施策の一つであるという事ができる。しかし，その際の漁獲量の増大は，必ずしも多くない。たとえば，網目を 2.5 寸まで引上げた時に，キダイで 35%，ワニエソで 18% の漁獲量増加が得られ，他魚種では変化がないものとして計算してみよう。以西の漁業を機船底曳だけで考えて，1952～58 年の平均でみると，7 魚種の合計が 3,054 万貫，キダイが 162 万貫，エソが 431 万貫で，増加分はキダイで 57 万貫，エソで 77 万貫 (全部ワニエソとして)，合計 134 万貫となる。7 魚種合計の 4% 増にすぎない。網目が変つた時の漁獲量の増大率の見積には勿論大きな誤差があるであろうし，又キダイはねだんが高いから，実質的にはもつと大きな影響となるかもしれないが，それにしてもけつして大きな数量ではない。それに，網目を拡大した時に予想されるマイナスの面，たとえば，制限後の一時的漁獲減，小型非有用魚の資源の相対的増加，等を考えると，必ずしもすべてがよいことばかりとも限るまい。

もし，シログチやキグチなどでの漁獲最小体長が，幼魚の漁場への加入によつて決定されるものとすると，現在の漁場範囲は，これ等の幼魚を保護する上で，意味のあることになる。戦前，多くの資源について減少がみられ，そのために，1949 年頃，田内，山本，笠原等によつて予測された乱獲，資源衰退の危険性が，その後 10 年たつた今日，当時よりさらに強化された漁業のもとで，漁獲量がけつして減少していないということには，現在の漁場範囲の制限が，あるいは効果をおよぼしているのかもしれない。

現在，産卵場や産卵期については，多くの魚種である程度のことがわかつている (真子，1957a)。又漁場内での幼魚の分布については，銘柄別の漁獲統計から，一応の推測を下すことはできよう。ところで，漁場外の朝鮮及び大陸沿岸地帯は，多くの魚種の主要産卵場となつており，したがつて，この方面には，多数の幼稚魚が分布していると思われる。しかし，現在あまりデータが得られていないようである。Graham (1956b) は North Sea における plaice の年令別の分布を模式的にあらわしているが，それによると，ヨーロツパ大陸から 30 マイル以内に 20 cm 以下の幼魚が多く，又 60 マイル以内には 25 cm 以下の II～III 才魚が多く分布していることを示している。Beverton and Holt (1956) は，このような plaice の分布が，大陸沿岸を源とした，気体分子の拡散と同様に考えられると述べており，III才魚を例にとると，距

岸 50 マイルくらいから急にその密度の減少することを示している。もしこれと同様のことが，黄海・東海の大陸よりでおこつているとするならば，岸より一定距離までを禁漁区とすることによつて，x_c の引上げをかなりの程度まで実行できるであろう。そして，網目制限よりも，この方が効果的であるかもしれない。

先に示した等量線図の解析結果からいうと，7 魚種のすべてについて，現在の F が低めであるという兆候は全くない。おそらく，他のほとんどの魚種についても同様であろう。だから，漁獲努力を現在以上に強化しても一時的な漁獲増は別にして，維持可能な漁獲量は，減少することはあつても，増加することはないと考えられる。しかるに，1955 年以来年々増大しつつある曳網回数に対して，1 曳網当で若干の減は見られるが，総漁獲量が年々増大して来たのは，いかなる理由によるのであろうか？

機船底曳網についてみると (Table 5.11)，総漁獲量は，1954 年に 6,321 万貫，1958 年に 7,973 万貫，したがつて増加量は 1,653 万貫である。一方 7 魚種の計では，2,688 万貫から 3,790 万貫，1,102 万貫増となつている。そして，この増加は，全くキグチ (580 万貫)，タチウオ (341 万貫) の増加によつている。つまり，以西底曳漁業の最近の好況は，キグチとタチウオの豊漁によつてささえられているといつても過言ではない。その他の 5 魚種については，年々の変動を無視すると，漁獲努力の増大にもかかわらず，漁獲量はほとんど一定であつたといつてもよい。つまり，努力量の増大は，漁獲量の増大をもたらさないという，先に述べた結果が裏がきされているわけである。

さてそれでは，キグチ，タチウオの増加がなぜおこつたかという理由については，必ずしもはつきりしているわけではないが，木部崎 (1957) は，1955 年における急増について，日中漁業協定の締結によつて，1954 年秋から漁船の拿捕がなくなり，中国沿岸寄りの濃密漁場が日本漁船に開放されたためとのべている。又真道 (1957) は，タチウオ，キグチは中層乃至上層にまで分布する習性をもつているので，底曳網から保護されやすく，したがつて，他の魚の減少したあとの生活空間に進出して，資源を増大させたという考え方もあることを示している。何等かの条件によつて加入量が増大し，それによつて資源量を増大させたという可能性はある。これ等 2 魚種の増加が，木部崎のいうように，新らしい漁場が開放された事，或は自然条件によつて加入量が増大したことのいずれによつたとしても (或は双方とも真であつても)，これが今後の漁獲の一そうの増加を保障するものではない。もしこれ等の他力的な条件が働いていなければ，努力量の増大は漁獲量の増大をもたらさず，1 曳網当りの量では，他の 5 魚種同様，或は減少していたかもしれない。

以上の論議をまとめて，東海・黄海の底魚資源についての一応の結論を出しておこう。

i) キダイ，ワニエソ，シログチ，キグチ，クログチ，ホンニベ，タチウオの 7 魚種資源について，次のように結論できる。現在の努力量は，過大であつても，過少である可能性は少ない。努力量の増大は，維持可能な漁獲量の増加をもたらさない。ただし，努力量を減少させても，ほとんど漁獲量の増加はみこまれない。一方，漁獲最小体長を現在より引上げることは，キグチにおいてはややおとるが，すべての魚種について，かなり有効である。ただし，網の目合を 2.5 寸目にした程度では，ほとんど効果がない。小型魚を保護するために，沿岸部に禁漁区をもうけることは，意味のあることであろう。もし小型魚の保護が充分に行なわれたならば，漁獲努力を拡大する可能性も生ずるであろう。

ii) 以上の結論は，7 魚種以外のほとんどの主要魚種に適用してあやまりではないであろう。

iii) 幼魚，小型魚を保護する方法をよりたしかにするために，網目の選択性の研究と，小型魚の分布に関する研究が重要であろう。その結果によつて，より正しい網目制限の効果，及び沿岸部での禁漁区の効果的な広さを決定することができるであろう。

5.4.5 努力量の時間的空間的配分の問題

同じ曳網回数の場合でも，その分布と魚の分布との関係によつては，実際に魚の資源に与える影響の変り得ることは，4.7.1 で述べた。そのために，特定の魚を保護しようという時に，その魚が多く集る海域，及び時期を，禁漁区又は期にする方法が考えられる。今まで以西底曳について考えて来た結果では，漁獲最小年令を引上げる事により，漁獲量の増加が期待されること，しかし，これを網目制限によつて実行するのは，必ずしも充分でないことが考えられた。そのために，小型魚の分布についての知識を集め，禁漁区又は期に

ついて検討してみることが必要のように思われた。これを行なうには，現在幼魚，小型魚の分布がよくわかつているとはいえないが，銘柄別の漁獲統計の利用できるものについては，或程度検討のための材料は得られるであろう。

ここで，キダイ及びシログチの銘柄別漁獲量を用いて，努力量配分の変更により，小型魚（芝レン，及び小グチ）の保護がどの程度可能かどうかについて，試算してみることにしよう。

もしこの計算結果によつて，具体的行動を決定するというのであれば，特定の魚種のみをとりあげて考えるのは適当でない。魚種によつて分布が異なるので，一方の魚種に有利な努力量の分布が，他方の魚種では不利となることもあるからである。しかし，そのためには，方程式の元数が著しく高くなり，大型計算機の利用が必要となる。それで，ここでは，考え方及び方法の一つの例としての計算結果を示すにとどめる。

5.4.5.1 キダイを例としての努力量配分計画

キダイでは，各銘柄がほぼ年令に対応しており，芝が1才，小が2才，中が3才，大が4才以上に相当する（真道・青山，1955）。だから，もし x_c を1年引上げようと思えば，芝を漁獲しないようにすればよい。そして，x_c を現在より1年引上げることは，ほぼ網目を 2.5 寸まで引上げることに対応している。

今，銘柄を s，月を i，漁区を j であらわした時，過去何年かのデータから，平均としての i 月，j 漁区での，漁場の広さ A_{ij}，曳網回数 X_{ij}，及び，ある銘柄 s の密度の指数 d_{sij} が得られるものとする。そうすると，s 銘柄の i 月における資源量の指数は

$$\tilde{P}_{si}=\sum_j d_{sij}A_{ij} \tag{54.12}$$

として求められ，又有効努力の強さは，(47.16) 式より，

$$\frac{\tilde{X}_{si}}{A_i}=\sum_j \frac{X_{ij}}{A_{ij}}\frac{d_{sij}A_{ij}}{\sum_j d_{sij}A_{ij}}=\frac{\sum_j X_{ij}d_{sij}}{\tilde{P}_{si}} \tag{54.13}$$

となる。もし availability が常に1に等しいとすると，年間の有効努力の強さは，

$$\sum_i \frac{\tilde{X}_{si}}{A_i}=\sum_i \frac{\sum_j X_{ij}d_{sij}}{\tilde{P}_{si}} \tag{54.14}$$

となる。ここで，i 月 j 漁区での努力量をそれぞれ k_{ij} 倍にした時に，ある銘柄に対する有効努力の強さが k_s 倍になつたとすると，(54.14) 式より，

$$k_s\sum_i \frac{\tilde{X}_{si}}{A_i}=\sum_i \frac{\sum_j k_{ij}X_{ij}d_{sij}}{\tilde{P}_{si}} \tag{54.15}$$

となるので，$\sum_i \tilde{X}_{si}/A_i$，$X_{ij}$ としては過去の値を，又 $\tilde{P}_{si}$，d_{sij} についても，努力の変化によつてあまり変化しないものとして，過去の値を代入すると，k_{ij} と k_s の関係が得られる。k_s にある望ましい値を入れると，k_{ij} を未知数とする方程式となる。ここで未知数の数は，（漁区の数）×（12 カ月）であるから，魚種及び銘柄の数の合計が，この数に等しい時には，未知数の数と方程式の数が一致して，k_{ij} の解は一義的にきめられ，又魚種及び銘柄の数が少ない時には，k_{ij} は一義的にはきめられないが，方程式を満足する多くの解の中から，実際的に都合のよいものを選択する自由を生ずる。漁区を全体で5つにわけたとすると，5×12=60 となり，60 魚種及び銘柄まで同時に考慮することができる。

銘柄別漁獲量統計（西海区水研，底魚資源調査研究連絡 22，24，25）によつて，1954，55 年について，月別，資源漁区（真道・青山，1954a）別の曳網回数，農林漁区数，及びキダイの銘柄別の資源量指数（農林漁区別の1網当の漁獲量を，各資源漁区ごとに加え合せたもの）を求めた。銘柄別の資源量指数は，農林漁区数で割つて，密度の指数とした。これ等のデータは，1954，55 の両年について平均し，それぞれ，X_{ij}，A_{ij} 及び d_{sij} とした。以上の数値によつて，$\sum_i \tilde{X}_{si}/A_i$ を求めると，芝，小，中，大のそれぞれについて，1957，2208，2195，2537 となる。大きくなるほど強く漁業の影響をうけているようにみえるが，その差はあまりなく，むしろ各年令ともかなり一様に漁獲されているといつた方がよいかもしれない。

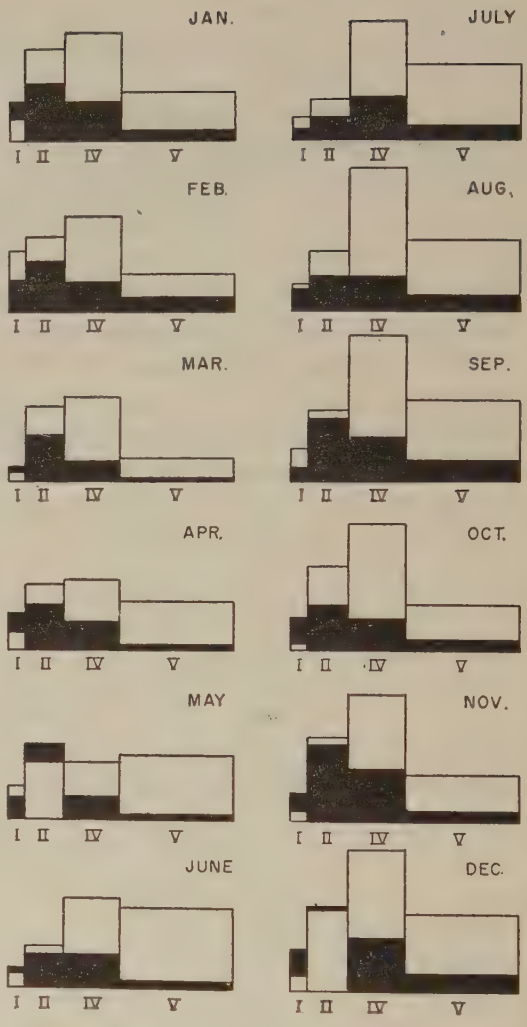
各資源漁区別に，銘柄別の分布をみると，芝は北に多く，その他は南に多い傾向がある。今，キダイのほとんどいないⅢ区（東海中部以北）を除き，北から南へと漁区をならべ，かつその間隔を，各海区の平均の広さとして，芝とその他の分布密度をヒストグラム式にあらわして比較すると，Fig. 5.32 となる。この図からあきらかなように，芝はⅡ区（九州西方）で最も密度が高く，小以上はⅣ区（東海南東部）で最も高い。小以上の大半がⅣ，Ⅴ漁区（東海南東及び南部）に分布しているのに，芝では相対的にⅠ，Ⅱ区（九州北西及び西方）にいるものの割合が高い。だから，努力量をⅠ，Ⅱ区からⅣ，Ⅴ区へ移動させると，芝に対する有効努力の強さをへらすことができる。

ここで漁区の数は 5 であるから，未知数は 60 となる。一方銘柄は四つであるから，何様もの努力の配分の仕方があることになる。そこで，今条件として，k_{ij} は i（月）によらず一定で，k_j に等しいとおいてみよう。そうすると未知数は 5 となるから，なお一義的な解は得られないが，方程式をかき下すと，次のようになる。

$$\left.\begin{aligned} 121k_1+584k_2+195k_3+651k_4+\ 406k_5&=1957k_{芝}\\ 49k_1+241k_2+249k_3+820k_4+\ 849k_5&=2208k_{小}\\ 44k_1+313k_2+219k_3+701k_4+\ 918k_5&=2195k_{中}\\ 27k_1+357k_2+525k_3+527k_4+1101k_5&=2537k_{大} \end{aligned}\right\} \quad (54.16)$$

ここで，芝の漁獲を 0 とすることは不可能である。なぜならば，どの海区にも多少の芝が分布しているため，$k_{芝}=0$ としようとすれば，すべての k_j を 0 としなければならないからである。

この方程式は，k_j にもう一つの条件（たとえば，年間曳網数を等しくする等）を加えると，一義的に解けるが，その解は必ずしも興味あるものではない。ここでは，k_j にいくつかの値を与えてみて，逆に k_s を計算してみよう。結果は Table 5.16 に示す。$k_1=k_2=0$ とし，他の k を 1.0 とおいた場合に，芝についての努力の強さが 1252 となつているが，この値は，小以上のキダイに対する努力もへらさないかぎり，芝に対する値をこれ以下に減らすことの不可能なことを示している。小以上について，現在の値を維持するものとすると，芝についてはだいたい 25% 程度の有効努力の減少が，Ⅰ，Ⅱ区を禁漁として，その分を特にⅤ区にまわすことによつて可能となる。



第 5.32 図 キダイ銘柄別，資源海区別，密度（重量について）1954～55 年の平均。
黒：芝，白：小・中・大

Fig. 5.32 Density of porgy (in weight) by region and by market category based on average of data for 1954 and 1955. Black portion: extra-small; white portion: small, medium and large.

5.4.5.2 シログチを例としての禁漁区，禁漁期の効果の見積

東海・黄海のシログチには，三つの系統があつて，大陸沿岸の産卵場と，東海中部の越冬場の間を，季節

第 5.16 表 努力の配分が之によるキダイ銘柄別有効努力の変化

Table 5.16. Change of effective effort by market category of porgy by change of effort distribution.

銘柄 Market category		$k_1=0$ その他 Others $=1$	$k_2=0$ その他 Others $=1$	$k_1=k_2=0$ その他 Others $=0$	$k_1=k_2=0$ その他 Others $=1.2$	$k_1=k_2=0$ $k_3=k_4=1.1$ $k_5=1.3$	$k_1=k_2=0$ $k_3=k_4=1.0$ $k_5=1.4$
芝	Extra-small	1,836	1,373	1,252	1,502	1,458	1,414
小	Small	2,159	1,967	1,918	2,302	2,280	2,258
中	Medium	2,151	1,882	1,838	2,206	2,205	2,205
大	Large	2,510	2,180	2,153	2,584	2,589	2,593

的に往復しているとみられる（岡田，1957）。北緯 30° 線にそつた断面（250～350 農林漁区）について，シログチの密度及び小グチ，中・大グチの組成を季節的にみてみると，Fig. 5.33 のようになる。この図は，1954～57 の 4 カ年分の平均で示してある。一般的にいつて，冬期は 280～300 区附近で密度が高く，夏期には大陸よりで高くなつている。銘柄組成は，全体としても小グチが大半をしめているが，特に大陸よりに小グチが多く，九州よりでは中・大グチの割合が多い傾向がある。だから，大陸よりの漁区を禁漁区として，小グチを保護するという方法が考えられる。今模式的に考えて，東海のシログチの分布が 1 次元的で，東西方向での分布は Fig. 5.33 に示される通りであり，南北方向では全く差がないものとしよう。

各漁区ごとの曳網数，密度として，1954～57 年の平均を用い，月別有効努力を計算すると (54.13) 式で $A_{ij}=1$，漁区数を n_i として，

$$\frac{\tilde{X}_{si}}{n_i}=\frac{\sum_j^{n_i} X_{ij}d_{sij}}{\sum_j^{n_i} d_{sij}} \tag{54.17}$$

となる。もし availability が 1 であれば，資源量指数 $\sum_j d_{sij}$ は，月によりそれほど変化しないであろう。ところが実際にはかなり大きくふれているので，これは availability が 1 でないことによつておこるものとする。その時，真の漁業の強さは，(47.36) 式によつて，$r_i\frac{\tilde{X}_{si}}{n_i}$ でなければならない（期間が充分に短かく，r_i の月内での変化が無視し得るとして）。真の資源量は変化しないものとして，その指数を $\tilde{P}$ とおくと，

$$r_i=\sum_{j=1}^{n_i} d_{sij}/\tilde{P} \tag{54.18}$$

となり，

$$r_i\frac{\tilde{X}_{si}}{n_i}=r_i\sum_j X_{ij}d_{sij}/\sum_j d_{sij}=\frac{1}{\tilde{P}}\sum_j X_{ij}d_{sij} \tag{54.19}$$

1 年分の和では，

$$\sum_i r_i\frac{\tilde{X}_{si}}{n_i}=\frac{1}{\tilde{P}}\sum_i\sum_j X_{ij}d_{sij} \tag{54.20}$$

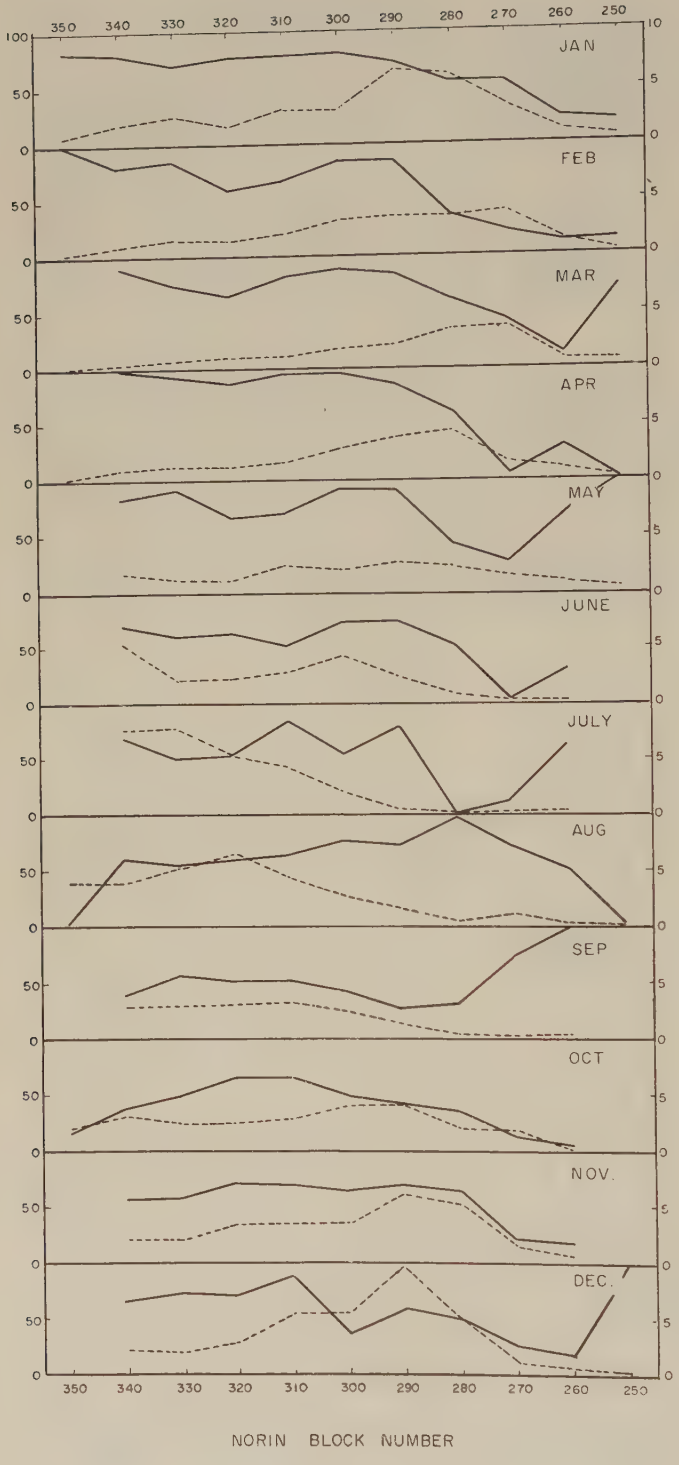
である。今 X_{ij} を k_{ij} 倍にして，この左辺を k_s 倍にするものとすると，

$$k_s=\frac{\sum_i\sum_j k_{ij}X_{ij}d_{sij}}{\sum_i\sum_j X_{ij}d_{sij}} \tag{54.21}$$

となる。

k_{ij} は i（月）によらず一定で k_j に等しいとおくと，

$$k_s=\sum_j k_j\frac{\sum_i X_{ij}d_{sij}}{\sum_i\sum_j X_{ij}d_{sij}} \tag{54.22}$$



第 5.33 図 シログチ海区別密度(重量) 及び小グチ組成。
実線： 小グチの %(左側尺度)
点線： シログチの密度 (右側尺度，中箱/曳網)

Fig. 5.33 Density of white croaker (in weight) by area and percentage of small croaker. Solid line: % of small croaker (left side scale). Dotted line: density of croaker (right side scale, medium sized box per haul).

第 5.17 表　シログチ銘柄別農林漁区別 $\sum_i X_{ij}d_{sij}/\sum_i\sum_j X_{ij}d_{sij}$ の値

Table 5.17.　Values of $\sum_i X_{ij}d_{sij}/\sum_i\sum_j X_{ij}d_{sij}$ of white croaker, *Argyrosomus argentatus* by market category and area.

銘柄 Size ＼ 漁区 Area	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350
小グチ Small	0.001	0.006	0.012	0.029	0.145	0.091	0.107	0.247	0.249	0.112	0.000
中大グチ Medium and large	0.001	0.027	0.043	0.042	0.097	0.063	0.082	0.261	0.298	0.084	0.002

となる。$\sum_i X_{ij}d_{sij}/\sum_i\sum_j X_{ij}d_{sij}$ の値を Table 5.17 に示す。この表でみると，大陸よりの海域で，340 区以外では，中・大グチの方の値がむしろ高くなつているので，大陸よりの海域の努力量をへらすと，かえつて中・大グチを保護することになる。小グチを保護するには，290, 300, 310 区の努力を 280 区以東又は 320, 330 区にふりむければよい。

k_{ij} が j（海区）によらず一定で k_i に等しいとした時には，

$$k_s=\sum_i k_i\frac{\sum_j X_{ij}d_{sij}}{\sum_i\sum_j X_{ij}d_{sij}} \qquad (54.23)$$

となる。$\sum_j X_{ij}d_{sij}/\sum_i\sum_j X_{ij}d_{sij}$ の値を示すと，Table 5.18 となる。これでみると，1 月～5 月でこの値は小グチの方が高くなつているので，この時期の努力をへらして，6 月以降の努力量を増加させると，中・大グチに対する有効努力を維持したまま，小グチに対する有効努力をへらすことができる。

第 5.18 表　シログチ銘柄別月別 $\sum_j X_{ij}d_{sij}/\sum_i\sum_j X_{ij}d_{sij}$ の値

Table 5.18.　Values of $\sum_j X_{ij}d_{sij}/\sum_i\sum_j X_{ij}d_{sij}$ of white croaker by market category and month.

銘柄 Size ＼ 月 Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
小グチ Small	0.149	0.067	0.050	0.043	0.048	0.094	0.157	0.097	0.054	0.076	0.098	0.065
中大グチ Medium and large	0.116	0.053	0.031	0.020	0.025	0.096	0.221	0.116	0.089	0.103	0.089	0.063

簡単な例として，中・大グチの有効努力をかえないようにして，290, 300, 310 区を閉鎖した場合を考えると，

$$1=k(0.001+0.027+0.043+0.042+0.261+0.298+0.084+0.002)$$
$$=0.758\,k$$

したがつて，

$$k=1/0.758=1.319$$

となるので，小グチに対する k_s は，

$$k_s=1.319(0.001+0.006+0.012+0.029+0.247+0.249+0.112+0.000)$$
$$=1.319\times 0.656=0.865$$

となる。小グチに対する有効努力は，13.5% 減ということになる。

次に，同じ条件で，1 月～5 月を閉鎖したとすると，

$$1=k(0.096+0.221+0.116+0.089+0.103+0.089+0.063)$$
$$=0.777\,k$$
$$k=1/0.777=1.287$$

したがつて，小グチに対する k_s は，

$$k_s=1.287(0.094+0.157+0.097+0.054+0.076+0.098+0.065)$$

$$=1.287\times0.641=0.825$$

つまり 17.5% 減となる。いずれの場合も，あまり大きな減少率とはいえない。

5.5 資源管理の一つの考え方——本論文の結びとして

今まで，マイワシ，カタクチイワシ，東海・黄海の底魚の場合について，具体的に資源管理の問題を考えて来た。そして，それぞれについて，現在得られているデータの範囲内で考えられる結論をのべて来た。しかし，それぞれの項でもふれたように，これ等の結論は，いずれもある仮定の上にのつたものであつて，ある意味では，一つの可能性（その程度の大小は別にして）を示したものに過ぎない。それぞれの場合について，資源の現状を判断して，資源管理についての結論を出すのに欠くことのできない基本的なデータ（成長曲線，漁獲される年令の範囲，及び二つの死亡係数）すら，充分にそろつているわけではない。ここで考えた諸資源が，多くの魚種の内で，最も調査研究の進んだ段階にあるものばかりである（だからこそ，まがりなりにも資源管理についての一応の結論が得られたわけであるが）にもかかわらず，なおこの程度のことしかわからない，ということは，資源の研究の困難さをよく物語るとともに，資源の研究，及び管理ということは，普通に考えられているようなやり方（適正漁獲量，或は率を求めてこれを実現するように漁業を規制する）では，とうていなし得るものでないということを示している。勿論，適正漁獲量或は率を求めて，このように資源を管理するということは，目的としては正しいし，考え方としてもまちがつているというわけではないが，一方的にデータを集め，そのデータを解析するだけでは，あくまで現象の記述及びその記述を通しての一つの仮説の設定にすぎず，何等かの方法によつて推定された適正な漁獲量或は率について，充分な自信をもつて実行に移すという所までは行き得ないであろう。出された仮説は，何等かの方法によつて，現実と対決させて，実証されねばならない。

資源研究の困難さは，我々の資源を観測する方法が，資源のもつている複雑さに比較して，あまりに貧困である点にあると思われる。かつて顕微鏡の発明によつて，微生物の研究が大いに発展し，又ラジオ・アイソトープの利用で，生化学が急速に進んでいるように，ある観測手段の発見が，学問の発展に大きな寄与をした例は多い。資源の研究について考えるに，将来このような意味で発展の期待されるものに，魚群探知機，水中テレビ等の機械類があるが，現在これ等に大きな期待をかけるわけにはいかない。

観測方法が不完全であるから，推定された諸特性値は，誤差或はかたよりの大きなものであることはさけられない。したがつて，これをおぎなうためには，数多くの観測のくりかえし，長年にわたつてのデータの集積が必要である。すでに過去何十年にもわたつて，必要なデータが集められている場合は，それでもよい。もしこれから始めるとすれば，何十年か先にならなければ結論が得られないということになる。もつと悪いことには，たとえ何十年にもわたつて観測が続けられたとしても，それはけつして等質な，一まとめにし得るようなデータではないのが普通である。漁業自身が何十年にもわたつて不変であるわけがない。自然的な環境はたえず変化しており，何十年前の海況と現在の海況とが，ランダムにおこる変動以上には変化していないと考えることもできない。たとえば，3.4.4.1 でみたように，Canada の Skeena River での sockeye の再生産を考えると，1908～1952 年の 48 年級について，それぞれ 15 年級ずつにわけた 3 期の間で，明らかに再生産の水準に差があるように思われる。このような差がある時には，45 年級分のデータは，けつして一まとめにして扱うことはできない。我々は，いたずらに年数を重ねても，真の意味の多数を期待することができない。“得体の知れない多数を集めるのに苦心するより，良質の少数を集めることを重んずる”（増山，1949）という推計学の立場の正しさが，皮肉にも証明されているわけである。

推計学では，最初に立てられた仮説は，必ず現実と対比して検定される。そしてこの検定によつて，一層高い段階での仮説をたてることができる（増山，1949）。一つの過程が一方的な open なものでなく，close した cycle を形作つているという事は，本質的に重要である。資源調査によつてデータを集め，解析し，ある仮説がたてられたならば，その仮説は検定され，その結果にもとづいて，次の調査が計画され，データが集められ，より高次の仮説が設定される。このようなフイードバックのかかつていない資源調査では，“資料が不足で，正しいことはわからない”という答以上の答は，いつまでたつても出てこないであろう。

ところで，我々の相手である漁業は，経済的な行為であり，経済的社会的法則にしたがつて，独自の運動をしているものである。だから，一つの仮説を検証するために，人為的に漁業を規制しようとすれば，それに要するエネルギが莫大なものとなるのは当然である。人体実験は，実験の最後の段階でなされるべきものである。それでは，人体実験に移す前に行なわれるべき動物実験に相当する実験方法が，漁業資源の場合に考えられるであろうか？　池の中に魚，或は他の適当な生物を飼つて，モデル的間引を行なつて，その個体群の変動を観測するのも一つの方法であろう。昆虫の個体群については，実験的研究はかなり進んでいる（内田，1949）。魚の例では Silliman and Gutsell (1958) のグッピーによる実験がある。この方法は，物理的，化学的環境の影響，密度，食物の量，他の生物等の生物学的環境の影響を個別的にしらべるには適しているだろう。しかしこれ等の影響は，すべて“*ceteris paribus*（他の条件が同じならば）”ということである。現実には環境のある要素の変化は，必然的に他の要素と関連しており，そして又，それ等の相互作用が特別の効果を与えることが多い。こみ入つた天然自然の環境——その複雑さにこそ，天然自然としての大きな意義があるのだが——を小さな水槽の中で実現することはできない。たとえば，1 尾の predator と多数の prey を小さな水槽の中に飼つておいたとすると，その比率をたとえ天然における比率に等しくしたとしても，多分 prey の個体群は全滅してしまうであろう。だから，実験的研究によつて，ばらばらにされた環境の影響を知り，個体群の自然の変動についての可能性を考えるには大いに役に立つはずであり，又この結果を population dynamics の理論の内に入組れることは可能であるが，その結果はやはり，自然の個体群についての一つの可能性を与えるにすぎない。実験水槽をもう少し大規模なものとし，溜池を用いたり，或は小さな湖沼を用いる場合には，より天然の状態で，個体群の変動を観測することができるであろう。しかし同時に，観測の困難さは飛躍的に増加し，海の場合と同様に，わからない要素がだんだんふえてくるであろう。そしてそれ以上に，湖沼での環境と，海洋での環境の相似性について，充分な保障を与えるだけの知識はなにももつていないのである。

これ等の実験，研究が進んで，いくつかの生態学的原理があきらかにされれば，海の魚についての研究に貢献する面は極めて大きいであろう。しかし，それ等の事は，海の魚についての研究の無駄をはぶき，或は仮定の尤もらしさを増しはするであろうが，それだけでは，まだ仮説の検証がなされたということはできない。最後の段階で人体実験が必要なように，どうしても，現実の漁業について実験——漁業資源の場合，むしろこれに大半の重みがかかることになろうが——しなければならないであろう。

実際の漁業について実験するといつても，必ずしも漁業を人為的に動かすことが必要なわけではない。自然におこつている漁業の変動（漁船の増加，網目の変化等）を利用して，そのことの資源及び漁獲物に与えた影響をみることによつて，一つの実験がなされるはずである。努力が増加して漁獲量がへつたとすれば，努力の増加が悪い影響を与えた結果であるとも考えられるから，努力量をへらすという方策が考えられよう。北東太平洋の halibut 漁業は，まさにこのような型で漁業規制が開始された（Thompson and Bell, 1934）。そして，漁業をある水準まで下げた所，努力当漁獲量が増大しだしたので，その規制は成功したものとして，継続されて来た。漁獲量の予報を出すという事も，この意味で重要である。予報が当るか当らぬかによつて，仮説の正否が検証されるからである。

しかし，このように自然のなりゆきにまかせての実験では，効率がわるいのは当然である。実験は目的に沿つて，最も効率的に計画されねばならないが，自然の状態にこの事を期待することはできない。さらに，いろいろな要因が交絡しているために，真の意味がどこにあるかをみきわめることができない場合が多い。たとえば，努力の増加とともに，網目が小型化したとすると，あらわれた結果が，このどちらにどれだけ影響されたものであるかを，たしかめる事ができない。自然的な要因で資源が次第に増大し，それにつれて，この漁業にたずさわるものの数が次第にふえてきたとすると，見かけ上はあきらかに努力の増大につれて，漁獲量がますます増大したようにみえるであろう。しかしその実は，常に過大努力になつていたかも知れない。

以上のような考察にもとづいて，結論として次のように考える。我々は，資源の解析の結果得られた結論

を，実際の漁業に適用して検証すべきであり，少なくともそのために努力すべきである。このような実験が可能であるためには，漁業規制の方法そのものが，現実的なものでなければならず，研究自身もそのような方向にむけられるべきである。いかに正しい結論であつても，又その方策を実行することによつて，将来大きな利益の得られることがあきらかであつても，実行の極めて困難な漁業規制の方法は，無意味であり，そのことについての研究は無駄である。我々はいきなり最良の状態にもつていこうとしても，むりである。まず少しでも現状を改善することを試みるべきである。そして，一歩一歩最良の状態に近づくことを考えるべきである。最良の状態はけつして固定したものではない。資源の生物学的条件によつて，この状態はたえず変化するであろうし，又漁業の側でも，経済的，社会的条件によつて，最良という事の内容自身が変化するであろう。しかし，その時その時の条件に照して，どちらの方がよりよいか，ということが判断できるならば，漁業を動かす規準（その時間断面における）は常にあるはずである。

ここで，いわゆるサイバネテイックスにおける自動制御の問題を思いうかべてみよう。ある量，たとえば温度を一定の値にたもとうとする時，一方において温度を測定し，その温度と望ましい温度の差を判断する装置があり，一方において温度を上げたり下げたりするための装置があれば，温度測定装置の判断にしたがつて，温度を変化させる装置を操作することによつて，望ましい温度を中心とした一定の巾のなかで，温度を振動させることができる。振動の巾は，装置全体の精度によつて決定される。もし，望ましい温度が変化した時，たとえば冷蔵庫内の温度をもつと下げたいと思つた時，或はもし，自然環境の変化によつて，温度調節がくるつて来た時，たとえば室温の上昇によつて庫内の温度がやや高めになつて来た時には，ダイヤルをまわすだけで，ただちに新たな状態に対処することができる。

我々はまず，現在の状勢のもとでのよりよい状態の判断規準，たとえば漁獲量とか，魚体組成等，を決定する。次に資源の現状を観測し，現在の資源をよりよい状態に変化させるには，どちらの方向に，さらにできれば，どの程度漁業を変化させる必要があるかについて判断する。その判断にもとづいて漁業を規制する。規制の効果は，又観測によつて測定され，次の判断が生れ，次の漁業規制の措置がとられる。そして，このような cycle をくりかえすことによつて，資源変動の法則について，より高い知識を得，制御機構は改良され，振動の巾を小さくすることも可能となろう。資源の生物学的条件の変化，漁業に対する社会的，経済的条件の変化にもかかわらず，資源は，常に当時の状勢での最良の状態の附近に管理されるのである。

現在ただちにこのような理想的型での資源管理を出発させ得るわけではないが，考え方としては，このようでなければならないと思う。そして，そのような考え方にもとづいて，具体的作業を開始することは，その気になりさえすれば，現在でも可能である。その意味において，今まで，マイワシその他の例について，大胆な仮定をおき，又大胆に結論を述べて来たわけである。著者として，この結論に対して責任をもたないわけではないが，この結論こそ真理であると考え，又ここでの結論にこだわるつもりはない。要は，ここに述べて来た具体的資源についての結論（勿論，さらに多くの研究者によつて，いろいろな角度から検討され，よりよいものにされることは望ましいが）を少しでも現実にとり入れて，実行してゆくことである。そして，資源の研究，資源の管理というものは，漁業の続くかぎり endless のものであることを銘記すべきであろう。

文　　献

Ahlstrom, E.H. (1943): "Influence of temperature on the rate of development of pilchard eggs in nature", *Spec. Sci. Rep., Fish.*, **15**, U.S. Fish and Wildl. Serv., 132–167.

——— (1954): "Distribution and abundance of egg and larval populations of the Pacific sardine", *Fish. Bull.*, **93**, U.S. Fish and Wildl. Serv., 83–140.

青山恒雄 (1953): "網目の問題", 東海・黄海における底魚資源の研究, 西海区水研, 107–119.

——— (1955): "網目の問題". *ibid.*, **2**, 107–111.

——— (1957a): "トロール網の網目試験と中仕切式網による試験結果", 水産学集成, 東大出版, 199–224.

——— (1957b): "漁獲統計に基いた資源解析", 東海・黄海における底魚資源の研究, **4**, 西海区水研, 86–91.

——— (1959): "底曳網の網目の選択作用—II. 50 尺おおい網式トロール網による網目試験", 西海水研報, **16**, 1–20.

Baerends, G.P. (1947): "The rational exploitation of the sea fisheries with particular reference to the fish stock of the North Sea", *Spec. Sci. Rep., Fish.*, **13**, U.S. Fish and Wildl. Serv., pp. 102.

Baranov, T.I. (1918): "On the question of the biological basis of fisheries", *Nauchnyi issledovatelskii iktiologisheskii Institut, Izvestiia*, **1** (1), 81–128. (笠原・深滝共訳, 水産科学叢書, **1**, 水産庁).

von Bertalanffy, L. (1938): "A quantitative theory of organic growth", *Human Biology*, **10** (2), 181–213.

Beverton, R.J.H. (1953): "Some observations on the principle of fishery regulation", *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, **19** (1), 56–68.

——— (1954): "Notes on the use of theoretical models in the study of the dynamics of exploited fish populations", U.S. Fish. Lab., Beaufort, N.C., Misc. Contr., **2**, pp. 159. (mimeo.)

——— and S.J. Holt (1956): "The theory of fishing", Sea Fisheries, Edward Arnold, London, 372–441.

——— and ——— (1957): "On the dynamics of exploited fish population", *Fish. Inv.*, Ser. II, **19**, U.K., pp. 533.

——— and J.A. Gulland (1958): "Mortality estimation in partially fished stocks", *Spec. Pub.*, **1**, ICNAF, Halifax, N.S., Canada, 51–66.

Buchanan-Wollaston, H.J. (1927): "On the selective action of trawl nets, with some remarks on selective action of drift nets", *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, **2** (3), 343–355.

——— and W.C. Hodgson (1929): "A new method of treating frequency curves in fishery statistics, with some results", *ibid.*, **4** (2), 207–225.

Burkenroad, M.D. (1953): "The theory and practice of marine fishery management", *ibid.*, **18** (3), 300–310.

Cassie, R.M. (1954): "Some uses of probability paper in the analysis of size frequency distributions", *Aust. J. Mar. Freshw. Res.*, **5**, 513–522.

Chapman, D.G. (1955): "Population estimation based on change of composition caused by a selective removal", *Biometrika*, **42**, 279–290.

Clark, F.N. and J.C. Marr (1955): "Population dynamics of the Pacific sardine", *Calif. Coop. Ocean. Fish. Inv., Prog. Rep.*, 1, July 1953 to 31, March 1955, 11–48.

Cochran, W.G. (1953): Sampling techniques, John Wiley & Sons, New York, pp. 330.

Cohen, A.C. (1949): "On estimating the mean and standard deviation of truncated normal distributions", *J. Amer. Stat. Assn.*, **44** (248), 518–535.

DeLury, D.B. (1947): "On the estimation of biological populations", *Biometrics*, **3** (4), 145–167.

——— (1951): "On the planning of experiments for the estimation of fish populations", *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **8** (4), 281–307.

土井長之 (1948): "生残率を求める推計学的な一つの方法", 日水誌, **14** (2), 91–104.
——— (1949a): "ひれによるヨシキリザメの資源調査—I", *ibid.*, **15** (7), 301–305.
——— (1949b): "ストツクの年令組成の回帰分析による取扱について", *ibid.*, 306–310.
Doi, T. (1950): "A mathematical consideration on the analysis of annual yield of fish and its application to "buri" (*Seriola quinqueradiata*)", *ibid.*, **15** (11), 661–664.
土井長之 (1955): "瀬戸内海におけるマダイ資源について", *ibid.*, **21** (5), 320–334.
——— (1956): "水産資源の力学的取扱—I. 単一魚種資源の力学的特性", *ibid.*, **21** (11), 1121–1133.
——— (1960): "クロマグロと沿岸魚種との相互関係について", *ibid.*, **26** (2), 99–102.
———・黒瀬日出男・吉川美津子 (1951): "体長組成の精度について", 以西底魚資源調査研究報告, **3**, 西海区水研, 39–51.
Felin, F.E., A.E. Daugherty and L. Pinkas (1951): "Age and length composition of the sardine catch off the Pacific coast of the United States and Canada in 1950–51", *Calif. Fish and Game*, **37** (3), 339–349.
Fridriksson, A. (1934): "On the calculation of age-distribution within a stock of cod by means of relatively few age-determinations as a key to measurements on a large scale", *Rapp. Proc.Verb. Réun.*, **86** (6), pp. 5.
福田嘉男 (1955): "年令と成長に関する研究の問題点", 年令と成長に関する Symposium 資料, 内海区水研, pp. 32. (mimeo).
Graham, M. (1935a): Review, *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, **10** (2), 210.
——— (1935b): "Modern theory of exploiting a fishery, and applications to North Sea trawling", *ibid.*, **10** (3), 264–274.
——— 1938): "The trawl fisheries: A scientific and national problem", *Nature*, **142** (3609), 1143–1146.
——— (1939): "The sigmoid curve and the overfishing problem", *Rapp. Proc. Verb. Réun.*, **110**, 15–20.
——— (1956a): "Concepts of conservation", Papers presented at the Int. Tech. Conf. Conserv. Liv. Res. Sea, Rome, FAO., 1–13.
——— (1956b): "Plaice", Sea Fisheries, Edward Arnold, London, 332–371.
Guiland, J.A. (1955): "Estimation of growth and mortality in commercial fish populations", *Fish. Inv.*, Ser. II, **18** (9), U.K., pp. 46.
——— (1956a): "On the fishing effort in English demersal fisheries", *ibid.*, **20** (5), pp. 41.
——— (1956b): "The English fish sampling programme, 1. The demersal species", *Rapp. Proc.Verb. Réun.*, **140**, 102–104.
——— (1957): "Sampling problems and methods in fisheries research", *FAO Fish. Bull.*, **10** (4), 1–25.
Hanamura, N. (1953): "On the herring resources of Hokkaido and the South Saghalien", 日水誌, **19** (4), 283–291.
花村宣彦 (1954): "ソウハチガレイの年令と成長について", 日水会, 生物資源分科会 (新潟, 1954–XIII) にて発表.
——— (1955): "魚類資源研究の焦点, Part I", 1955–XI, 資源調査担当官会議資料, 北水研, pp. 56. (mimeo.)
花岡 資 (1954): "Community として見た水産資源に関する一考察", 内海水研報, **6**, 1–6.
Harding, J.D. (1949): "The use of probability paper for the graphical analysis of polymodal frequency distributions", *J. Mar. Biol. Assn., U.K.*, **28**, 141–153.
橋本富寿・菊地喜充・西村 実・間庭愛信 (1956): "200 KC 超音波による簡易水平ソーナーの試作並びに海上実験", 漁船研究技報, **8**, 水産庁漁船研究室, 119–129.
畑中正吉 (1949): "北海道西岸海況の変動と春ニシン発生量について (予報)", 農学研究所彙報, **1** (2), 東北大農学研, 105–108.
Hatanaka, M. and M. Takahashi (1956): "Utilization of food by mackerel, *Pneumatophorus japonicus* (Houttuyn)" *Tohoku J. Agr. Res.*, **7** (1), 51–57.
———, K. Sekino and M. Takahashi (1957): "Growth and food consumption in young mackerel, *Pneumatophorus japonicus* (Houttuyn)", *ibid.*, **7** (4), 351–368.
畑中正吉 (1958): "マサバの飼育実験", 対馬暖流開発調査報告書, **4**, 水産庁, 102–105.
林 繁一 (1957): "陸奥湾産小中羽マイワシの漁獲量について", 東海水研報, **15**, 15–20.

HAYASHI, S. and K. KONDO (1957): "Growth of the Japanese anchovy—IV. Age determination with the use of scales", 東海水研報, **17**, 31–64.
林 知夫 (1953); "紀伊水道域のシログチ *Nibea argentata* (HOUTTUYN) について—I.", 内海水研報, **4**, 75–92.
———— (1956): "食性について" 1956–III, 担当官会議資料, 内海区水研, pp. 6, (mimeo.)
林知己夫 (1951): サンプリング調査はどう行うか, 東大出版, pp. 500.
HJORT, J. (1926): "Fluctuations in the year classes of important food fishes", *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, **1** (1), 5–38.
HJORT, J., G. JAHN and P. OTTESTAD (1933): "The optimum catch", *Havalrådets Skrifter*, **7**, 92–127.
HODGSON, W.C. (1939): "An improved method of sampling herring shoals", *Rapp. Proc. Verb. Réun.*, **110**, 31–38.
北海道区水研・北海道水試 (1953): "西北海道区のソウハチガレイの資源学的考察 (要約)", pp. 20. (mimeo.)
———— • ———— (1956): "北海道の機船底曳網漁業とその資源", 北海道区資源調査報告, **1**, pp. 142.
北海道区水研 (1959): "昭和 30 年鰯資源協同研究経過報告", pp. 187.
HOLT, S.T. (1958): "The evaluation of fisheries resources by the dynamic analysis of stocks and notes on the time factors involved", *Spec. Pub.*, **1**, ICNAF, Halifax, N.S., Canada, 77–95.
———, J.A. GULLAND, C. TAYLOR and S. KURITA (1959): "A standard terminology and notation for fishery dynamics", *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, **24** (2), 239–242.
池田郁夫 (1957): "食性問題", 東海・黄海における底魚資源の研究, **4**, 西海区水研, 70–79.
犬飼哲夫 (1956–7): "北海道動物興亡史", 自然, 1956–XII, 20–26, 1957, I, 66–73.
石田昭夫 (1952): "ニシン漁業とその生物学的考察", 漁業科学叢書, **4**, 水産庁, pp. 57.
伊東英世・渡瀬節雄・秋岡正時 (1955): 1954 年度に於ける三陸・北海道沖及び北洋に於ける鯨族標識調査報告, 捕鯨船舶装備改善委員会, 47–109.
伊東祐方 (1955): "特定水域内におけるマイワシ産卵量推定の一例", 日水研研究年報, **2**, 1–7.
———— (1957): "イカによるイワシ類の食害量", *ibid.*, **3**, 53–59.
———— (1958): "マイワシの孵化時間と水温との関係", *ibid.*, **4**, 25–31.
———— • 西村三郎 (1958): "プランクトン・ネットの濾水率に関する実験", *ibid.*, 57–64.
笠原 昊 (1948): "支那東海黄海の底曳網漁業とその資源", 日本水産, 研究報告, **3**, pp. 194.
加藤源治 (1954): "八郎潟産わかさぎ当才魚の年成長の相違についての一考察", 日水研研究年報, **1**, 83–86.
川上武彦 (1955): "1954 年度に於ける三陸, 北海道沖及び北洋に於ける鯨族標識調査報告", 捕鯨船舶装備改善委員会, 111–130.
KAWAKAMI, T. and T. ICHIHARA (1958): "Japanese whale marking in the North Pacific in 1956 and 1957", *Norwegian Whaling Gazette*, **1958** (6), 285–291.
川名 武 (1948): "北海道鰊資源の研究(第 1 報), 明治 3 年以降の漁具当り漁獲高", 日水誌, **14** (2), 73–76.
———— (1949): "北海道鰊資源の研究(第 2 報), 稚魚発生量と太陽活動との関係", *ibid.*, **14** (4), 181–183.
———— (1950): "北海道鰊資源の研究 (第 3 報), 一尾の親魚より育つ稚魚数", *ibid.*, **16** (5), 175–176.
川崎 健 (1956): "魚類資源の変動についての一つの考え方", 水産科学, **5** (4), 12–16.
KENYON, K.W., V.B. SCHEFFER and D.G. CHAPMAN (1954): "A population study of the Alaska fur-seal herd", *Spec. Sci. Rep., Wildl.* **12**, U.S. Fish and Wildl. Serv., pp. 77.
KESTEVEN, G.L. and S.J. HOLT (1955): "A note on the fisheries resources of the North West Atlantic", *FAO Fisheries Papers*, **7**, Paper submitted at the 5th (1955) session of ICNAF, pp. 11. (mimeo.)
KETCHEN, K.S. (1950): "Stratified subsampling for determining age distributions", *Trans. Amer. Fish. Soc.*, **79**, 205–212.
———— (1953): "The use of catch-effort and tagging data in estimating a flatfish population", *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **10** (8), 459–485.
(1956): "Factors influencing the survival of the lemon sole (*Parophrys vetulus*) in Hecate Strait, British Columbia", *ibid.*, **13** (5), 647–693.

木部崎修 (1956): "漁獲努力に関連して", 水産科学, **6** (2), 6–11.
——— (1957): "漁獲量変動", 東海・黄海における底魚資源の研究, **4**, 西海区水研, 20–31.
・真子 渺 (1957): "東海産クログチの資源に関する研究—II. 若令魚の成長について", 西海水研報, **11**, 32–43.
北川敏男・山本忠・他 (1950a): "昭和 24 年度福岡県下に於ける漁獲高推計標本調査 (第 1 報)", 農林省福岡作報, 水産庁福岡駐在所, pp. 48. (mimeo.)
——・———, — (1950b): "昭和 24 年度, 昭和 25 年度, 福岡県下の漁獲高推計標本調査の概要", 農林省福岡統計調査事務所, pp. 46. (mimeo.)
北浜 仁 (1955): "北海道春ニシン *Clupea pallasi* C. et V. の全長経年変化" 日水誌, **21** (8), 915–920.
小林久雄 (1944): "真鰯卵人工孵化の研究", 海洋の科学, **4** (7), 33–38.
久保伊津男・吉原友吉 (1957): 水産資源学, 共立出版, pp. 345.
KURITA, S. (1948): "A theoretical consideration on the method for estimating the yearly survival rate of fish stock by using the age difference between the oldest and the average (I)", 日水誌, **14** (1), 1–12.
栗田 晋 (1957a): "マイワシ資源量の変動に関する二・三の知見, 特に 1941 年以降の激減について", 東海水研報, **18**, 1–14.
——— (1957b): "東海・東北両海区におけるカタチチ漁業及び資源の概観", 資源数理科プリント, **7**, 東海区水研, 5–22, (mimeo.)
———・田中昌一・山中一郎・土井長之 (1956): "イワシ資源統計標本調査報告", 東海水研報, **13**, 1–34.
劉発煊・陳金域 (1954): "台湾北部黒口 (*Nibea nibe* JORDAN & THOMPSON) 之調査", 中国水産, **23–24** 期, 1–20.
MACKINTOSH, N.A. and S.G. BROWN (1956): "Preliminary estimates of the southern population of the large baleen whales", *Norsk Hvalfangst—Tidende*, **45** (9), 469–480.
真子 渺 (1955): "魚の密度指数についての考察", 日水誌, **21** (2), 67–72.
——— (1956): "東海・黄海における底魚群集の研究—I. トロールによる漁獲物組成の変遷", 日生態会誌, **6** (1), 28–32.
——— (1957a): "成熟・産卵・稚魚", 東海・黄海における底魚資源の研究, **4**, 西海区水研, 55–60.
——— (1957b): "資源の状態", *ibid.*, 79–86.
——— (1959): "銘柄組成による底魚資源の解析 (I). 銘柄組成より年令組成を推定する方法", 西海水研報, **16**, 36–62.
増山元三郎 (1949): 少数例の纏め方と実験計画の立て方, 増補改訂, 河出書房, pp. 194.
松原喜代松 (1955): 魚類の形態と検索, 石崎書店, pp. 1605.
松井魁・網尾 勝 (1951): "クログチ *Nibea nibe* (JORDAN and THOMPSON) の年令組成並びに鱗の輪相型組成に就て", 日水誌, **16** (12), 168–173.
———・高井 徹 (1952): "東海・黄海産重要魚類の生態学的研究—IV. タチウオ (*Trichiurus leptuorus* LINNAEUS) の生態学的研究", 以西底魚資源調査研究報告, **4**, 西海区水研, 101–121.
三淵英弘・岸本源治・塩見元晶・相川広秋 (1958): "マアジの年令・成長及び成熟", 対馬暖流開発調査報告書, **4**, 133–144.
MILLER, R.B. (1949): "Problems of the optimum catch in small white fish lakes", *Biometrics*, **5**, 14–26.
三栖 寛 (1958): "東海・黄海産タチウオ資源の研究—I. 年令と成長について", 西海水研報, **15**, 2–13.
三谷文夫 (1958): "胃の内容物から見たブリの食性—II. 摂餌活動の日週変化および成長に伴う摂餌率の変化", 日水誌, **24** (3), 182–185.
宮地伝三郎・森 主一 (1957): 動物の生態, 第 5 刷, 岩波書店, pp. 221.
MORAN, P.A.P. (1951): "A mathematical theory of animal trapping", *Biometrika*, **38**, 307–311.
元田 茂・安楽正照 (1958): "プランクトンに関する研究", 対馬暖流開発調査報告書, **2**, 111–162.
村上子郎・早野考教 (1955): "昭和 27 年鰯資源協同研究経過報告", 西海区水研, pp. 54.
長崎福三 (1957): "資源管理の理論と実際", 漁業科学叢書, **11**, 水産庁, pp. 88.
内海区水研 (1957): "内海資源の変動傾向について", 水産資源に関する研究協議会経過概要, 農林水産技術会議, 212–217, (mimeo.)
中井甚二郎 (1949): "鰯はなぜ漁れない", 水産季刊, **2**, 92–101.
———・他 (1953): "鰯 (マイワシ, カタクチワシ, ウルメイワシ) の資源生物学的調査研究", 水産研究所年報, 昭 27, 水産庁, 34–39.
———・他 (1955): "昭和 24–26 年鰯資源協同研究経過報告", 東海区水研, pp. 84.

中井甚二郎・林　繁一 (1955): "総産卵量と年令別漁獲量による資源解析の試み", *ibid.*, 78–79.
中野宗治・栗田　晋・畑　久三 (1949): "中流河川漁業連絡調査要報", 水産試験場, pp. 216, (mimeo.)
National Bureau of Standards (1954): 二項分布表, 日本規格協会, pp. 387.
Neave, F. (1953): "Principles affecting the size of pink and chum salmon population in British Columbia", *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **9** (9), 450–491.
Neyman, J. (1949): "On the problem of estimating the number of schools of fish", *Univ. Calif. Pub. Statistics*, **1**, 21–36.
Nicholson, A.J. (1933): "The balance of animal populations", *J. Anim. Ecol.*, **2**, (suppl.), 132–178.
日本捕鯨協会 (1956): 北洋産鯨族資源の生物学的調査報告, pp. 178, (mimeo.)
日本海区水研 (1953): "以西底魚資源調査概報", 1952, IX—1953, V, 底魚担当者会議資料, **4**, pp. 29. (mimeo.)
———— (1954): 日本海区鰯資源調査資料, 昭 27, B, pp. 200, (mimeo.)
野村正恒・二次信輔・吉牟田長生 (1956): "魚群探知機記録より見たイワシ刺網漁業に於ける投網直前の魚群数と漁獲との関係", 日水会年会 (1956, IV, 東京) にて発表.
農林省統計調査部 (1959): 昭和 33 年の総漁獲量ならびに水産物市場価格, pp. 27. (mimeo.)
農林水産技術会議 (1957): 水産資源に関する研究協議会経過概要, 昭 31, pp. 310. (mimeo.)
———— (1958): *ibid.*, 昭 32, pp. 172. (mimeo.)
Odum, E.P. (1953): 生態学の基礎, (京大生態学研究グループ訳), 朝倉書店, pp. 432.
岡　正雄 (1954): "統計面から見た東支那海に於ける黄鯛の生態学的研究—II. 黄鯛 (*Taius turmifrons*) の成長に就いて", 長崎大水産研究報告, **2**, 8–25.
岡地伊佐雄・他 (1958): "マサバの年令と成長, 附, ゴマサバの年令と成長", 対馬暖流開発調査報告書, **4**, 20–38.
岡田立三郎 (1957): "分布域と回遊及び漁期・漁場", 東海・黄海における底魚資源の研究, **4**, 西海区水研, 32–50.
太田嘉四夫 (1954): "野鼠の調査法" 林業解説シリーズ, **70**, 日本林業技術協会, pp. 36.
大鶴典生 (1955): "機船底曳網漁業の沿革と現況", 漁業科学叢書, **9**, 水産庁, pp. 129.
大内　明 (1954): "鱗によるソウハチの年令及び成長", 日水研研究年報, **1**, 27–32.
———— (1956): "ムシガレイ", 日本海の底魚漁業とその資源, 日水研報, **4**, 225–248.
Parrish, B.B. (1956): "The cod, haddock and hake", Sea Fisheries, Edward Arnold, London, 251–331.
Pearson, K. (1934): Table of the incomplete B-function.
Preston, E.J. (1953): "A graphical method for the analysis of statistical distributions into two normal components", *Biometrika*, **40**, 460–464.
Rao, C.R. (1948): "The utilization of multiple measurements in problems of biological classification", *J. Roy. Stat. Soc., Ser., B.* **10**, 159–193.
Rasor, E.A. (1949): "The fitting of logistic curves by means of a nomograph", *J. Amer. Stat. Assn.*, **44** (248), 548–553.
Ricker, W.E. (1940): "Relation of 'catch per unit effort' to abundance and rate of exploitation", *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **5**, 43–70.
———— (1944): "Further notes on fishing mortality and effort", *Copeia.*, 1944 (1), 23–44.
———— (1948): "Methods of estimating vital statistics of fish populations", *Indiana Univ. Publ., Sci. Ser.*, **15**, pp. 101.
———— (1950): "Cycle dominance among the Fraser sockeye", *Ecology*, **31** (1), 6–26.
———— (1954): "Stock and recruitment", *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **11** (5), 559–623.
———— (1958a): "Maximum sustained yields from fluctuating environments and mixed stocks", *ibid.*, **15** (5), 991–1006.
———— (1958b): "Handbook of computations for biological statistics of fish populations", *Fish. Res. Bd. Canada, Bull.*, **119**, pp. 300.
Rounsefell, G.A. (1958): "Factors causing decline in sockeye salmon of Karluk River, Alaska", *Fish. Bull.* **130**, U.S. Fish and Wildl. Serv., 83–169.
Russell, E.S. (1931): "Some theoretical considerations on the 'overfishing' problem", *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, **6** (1), 3–20.
———— (1939): "An elementary treatment of the overfishing problem", *Rapp. Proc. Verb.*

Réun., **110**, 5–14.
最首光三 (1955): "ホンニベの研究", 東海・黄海における底魚資源の研究, **2**, 西海区水研, 55–59.
———— (1957): "重要魚種の年令と成長", *ibid.*, **4**, 50–55.
斉藤金一郎・浅井 晃 (1951): 標本調査の設計, 培風館, pp. 323.
佐藤隆平 (1954): "ワカサギの漁業生物学", 水産増殖叢書, **5**, pp. 99.
佐藤 栄・田中 江 (1949): "北海道の春鰊資源に就いての一考察", 日水誌, **14** (3), 149–154.
佐藤猛郎 (1953): "マイワシの成長—I.", *ibid.*, **18** (10), 443–448.
里内 晋 (1937): "東海・黄海底魚漁場の再認識". (発行所等不詳)
Schaefer, M.B. (1954): "Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries", *Bull. Inter.-Amer. Trop. Tuna Comm.*, **1** (2), 27–56.
———— (1956): "The scientific basis for a conservation programme", Papers presented at the Int. Tech. Cont. Conserv. Liv. Res. Sea, Rome, FAO., 14–55.
———— (1957): "Some considerations of population dynamics and economics in relation to the management of the commercial marine fisheries", *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **14** (5), 669–681.
Schnabel, Z.E. (1938): "The estimation of the total fish population of a lake". *Amer. Math. Monthly*, **45** (6), 348–352.
西海区水研 (1951a): "以西底魚資源調査研究の組織及び計画", 以西底魚資源調査研究報告, **1**, pp. 47.
———— (1951b): "昭和 25 年第 3 漁期の調査測定資料並に計算結果", *ibid.*, **2**, 1–29. (1952 年 12 月までの体長組成のデータは, 同誌 **3** 号 (1951), **4** 号 (1952), 西海区水研, 底魚資源調査研究連絡, **21** 号 (1954) に発表されている)
———— (1953a): 西海区鰹資源調査資料, 昭 27, B, pp. 235.
———— (1953b): 東海・黄海における底魚資源の研究, pp. 125.
———— (1954, 56, 57): "以西トロール及び機船底曳網漁業銘柄別漁獲統計", 底魚資源調査研究連絡, **24**, 1–90, **25**, 1–77, **26**, 1–65.
Sette, O.E. (1943): "Biology of the Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) of North America, Part I. Early life history, including the growth, drift and mortality of the egg and larval populations", *Fish. Bull.*, **38**, U.S. Fish and Wildl. Serv., 149–234.
—— and E.H. Ahlstrom (1948): "Estimations of abundance of the eggs of the Pacific pilchard (*Sardinops caerulea*) off southern California during 1940 and 1941", *J. Mar. Res.*, **7** (3), 511–542.
Shepard, M.P. and F.C. Withler (1958): "Spawning stock size and resultant production for Skeena sockeye", *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **15** (5), 1007–1025.
真道重明 (1956): "漁業統計からみた戦後の以西汽船トロール並びに機船底曳網漁業の実態について", 東海・黄海における底魚資源の研究, **3**, 西海区水研, 1–86.
———— (1957): "魚種組成の変化", *ibid.*, **4**, 60–67.
————・青山恒雄 (1954a): "東海における戦後の機船底曳網によるレンコダイ漁獲統計の分析", 西海水研報, **2**, 1–34.
————・———— (1954b): "東海および南支那海産レンコダイに関する形態測定の結果について", *ibid.*, **3**, 33–65.
————・———— (1955): "レンコダイ資源の研究", 東海・黄海における底魚資源の研究, **2**, 西海区水研, 80–87.
Silliman, R.P. (1943a): "Studies on the Pacific pilchard or sardine (*Sardinops caerulea*)–5. A method of computing mortalities and replacement", *Spec. Sci. Rep.*, **24**, U.S. Fish and Wildl. Serv., 1–10.
———— (1943b): "Thermal and diurnal changes in the vertical distribution of eggs and larvae of the pilchard (*Sardinops caerulea*)", *J. Mar. Res.*, **5** (2), 118–131.
———— (1946): "A study of variability in plankton tow-net catches of Pacific pilchard (*Sardinops caerulea*) eggs", *J. Mar. Res.*, **6** (1), 74–83.
———— and F.N. Clark (1945): "Catch per-unit-of-effort in California waters of the sardine (*Sardinops caerulea*) 1932–1942", *Fish Bull.*, **62**, Div. Fish and Game, Calif., pp. 76.
———— and J.S. Gutsell (1958): "Experimental exploitation of fish populations", *Fish. Bull.*, **133**, U.S. Fish and Wildl. Serv., 215–252.

SNEDECOR, G.W. (1946): Statistical methods, Iowa State College Press, (畑村，他共訳，統計的方法，上下，岩波書店，pp. 478).
須田 明 (1954): "ビンナガの研究—I. 北部太平洋で漁獲される南下期ビンナガの体長組成"，日水誌，**20** (6)，460–468.
水 産 庁 (1957): 漁業に関する国際条約集，pp. 147.
水産研究会 (1951): "以東底魚資源調査（陸上）報告"，研究資料 **32**，pp. 203，(mimeo.)
田口喜三郎 (1949): "支那東海・黄海底魚の資源調査"，水産界，**786**，(1949，X)，28–31.
田中昌一 (1952): "昭和 28 年度イワシ魚体調査計画に関する私見"，東海区水研，イワシ担当者会議資料，pp. 20，(mimeo.)
———— (1953a): "年令組成から推定された生残率の比推定による精度計算法—I. 魚体抽出が単純抽出であつた場合"，日水誌，**18** (8)，353–358.
TANAKA, S. (1953b): "The method to calculate precision of survival rate estimated from age-composition, by ratio estimete—II. A method applied to age composition obtained using length for stratification", *ibid.*, **19** (4)，279–282.
———— (1953c): "Precision of age-composition of fish estimated by double sampling method using the length for stratification", *ibid.*, **19** (5)，657–670.
田中昌一 (1954a): "測定誤差の頻度分布への影響—I. 体長組成について"，*ibid.*, **20** (4)，263–267.
———— (1954b): "漁獲努力量制限の効果について"，*ibid.*, **20** (7)，599–603.
———— (1954c): "体長組成中にあらわれるモードの意義について—I. 正規分布をする二群の混合した分布型"，*ibid.*, **20** (8)，681–688.
———— (1955a): "産卵総量の推定—I. 垂直曳による推定法及びその問題点"，*ibid.*, **21** (6)，382–389.
———— (1955b): "産卵総量の推定—II. 九州西方海面におけるマイワシ産卵量の推定"，*ibid.*, 390–396.
———— (1956a): "伊勢湾・遠州灘方面で水揚されるカタクチイワシの体長組成—I. 1951 年及び 1952 年"，東海区水研報，**13**，35–50.
———— (1956b): "Polymodal な度数分布の一つの取扱方及びそのキダイ体長組成解析への応用"，*ibid.*, **14**，1–13.
———— (1956c): "標識放流によるクジラ資源量の推定"，日水誌，**22** (6)，330–337.
TANAKA, S. (1957a): "Relation between BARANOV's mathematical model and sigmoid curve", *ibid.*, **23** (1)，12–18.
田中昌一 (1957b): "資源量の相対指数と有効漁獲努力量"，東海水研報，**17**，1–13.
———— (1958a): "魚の資源における死亡と成長の作用についての数理的考察"，*ibid.*, **20**，1–11.
———— (1958b): "マイワシ資源利用の合理化についての一つの検討"，*ibid.*, **21**，1–13.
TAUTI, M. (1953): "The increase of large fishes in the stock resulted from saving smalls"，日水誌，**3** (6)，307–311.
田内森三郎 (1936): "魚群体の消長を判定する一つの方法"，日水誌，**5** (4)，239–241.
———— (1942a): "マイワシの stock に就て"，*ibid.*, **10** (5)，216–220.
———— (1942b): "北海道の春ニシン漁近年の不況について"，日本学術協会報，**17** (1)，98–101.
———— (1947): "年令・体重・体長の最大値と平均値とをつかつて，見掛けの生残率を求める方法の吟味"，日水誌，**13** (3)，91–94.
———— (1948): "北海道の春ニシンのストックに就いて"，*ibid.*, **13** (5)，207–209.
———— (1949): "以西底曳漁業について適正な漁獲量を推定する一つの試み"，*ibid.*, **14** (5)，227–232.
———— (1956): "漁業資源管理論，京大農，水産，第二講座出版部，1–15，(mimeo.)
TESTER, A.L. (1948): "The efficiency of catch limitations in regulating the British Columbia herring fishing", *Trans. Roy. Soc. Canada*, **42**, Ser. 3, Sec. 5, 135–163.
———— (1955): "Estimation of recruitment and natural mortality rate from age composition and catch data in British Columbia herring populations", *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **12** (5)，649–681.
THOMPSON, W.F. and F.H. BELL (1934): "Biological statistics of the Pacific halibut fishery. (2) The effect of changes in intensity upon total yield and yield per unit of gear", *Rept. Int. Fish. Comm.*, 8, Seattle, pp. 49.
東北水研八戸支所 (1956): "東北海区の底魚"，東北水研叢書，**6**，pp. 91.
東海区水研 (1953): 東海・東北海区鰯資源調査資料，昭 26，B，pp. 280.
———— (1957): "イワシ資源の変動"，昭 31 水産資源に関する研究協議会経過概要，農林水産技術会議，225–239.

内田俊郎 (1949): "動物個体群の実験的研究", 生物学の進歩, 第4集, 共立出版, 61–120.
宇田道隆 (1950): "以西底魚資源の問題", 水産季刊, **3**, 112–119.
Voltera, V. (1928): "Variations and fluctuations of the number of individuals in animal species living together", *J. Cons. Int. Explor. Mer*, **3** (1), 3–51.
脇山国定・真道重明 (1953): "レンコダイの漁獲における汽船トロールと機船底曳網との漁獲能率の比較", 底魚資源調査研究連絡, **18**, 西海区水研, 2–7.
Walford, L.A. (1946): "A new graphic method of describing the growth of animals", *Biol. Bull.*, **90** (2), 141–147.
渡辺和春 (1955): "日本海におけるマイワシ脊推骨数の変異について", 日水研研究年報, **2**, 9–21.
渡辺 徹 (1954): "日本海西南海域における底魚資源の研究 (I). ソウハチ *Cleisthenes herzensteini* (Schmidt) の年令査定, 年令組成及び生残率", *ibid.*, **1**, 65–81.
——— (1956): "ソウハチ, 日本海の底魚漁業とその資源", 日水研報, **4**, 249–269.
——— (1958): "日本海西南海域における底魚資源研究—II. ソウハチの成長型にあらわれた cline 分布", 日水研研究年報, **4**, 181–188.
Watt, K.E.F. (1956): "The choice and solution of mathematical models for predicting and maximizing the yield of a fishery", *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **13** (5), 613–645.
Weymouth, F.W. and H.C. McMillan (1931): "The relative growth and mortality of the Pacific razor clam (*Siligua patula*) and their bearing on the commercial fishery", *Bull. U.S. Bur. Fish.*, 1930, **46**, 543–567.
Wickett, W.P. (1958): "Review of certain environmental factors affecting the population of pink and chum salmon", *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **15** (5), 1103–1126.
Widrig, T.M. (1954): "Method of estimating fish populations, with application to Pacific sardine", *Fish. Bull.*, **94**, U.S. Fish and Wildl. Serv., 141–166.
Winsor, C.P. and L.A. Walford (1936): "Sampling variations in the use of plankton nets", *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, **11** (2), 190–204.
——— and G.L. Clarke (1940): "A statistical study of variation in the catch of plankton nets", *J. Mar. Res.*, **3** (1), 1–34.
山口和雄 (1957): 日本漁業史, 東大出版, pp. 351.
山本 忠 (1949a): "支那東海・黄海に於ける汽船トロール漁業並に機船底曳網漁業の抱容隻数算定に関する資料", 水産庁福岡駐在所, pp. 55. (mimeo.)
——— (1949b): 序文, 東海黄海底魚資源調査研究誌, **1**, 水産庁福岡駐在所, 水産研究会福岡分室. (mimeo.)
山中一郎 (1954a): "体長組成推定法の改良", 日水研研究年報, **1**, 105–108.
——— (1954b): "体長組成から年令組成を求める方法についての吟味", *ibid*,, 109–117.
——— (1954c): "体長制限の効果について—I.", *ibid.*, 119–126.
Yamanaka, I. (1955): "An ecological inference of statistics concerning the size composition (I)", *ibid.*, **2**, 43–54.
山中一郎・伊東祐方 (1957): "昭和 29 年鰯資源協同研究経過報告", 日本海区水研, pp. 177.
横田滝雄 (1953): "日向灘・豊後水道のイワシ類の研究", 南海水研報, **2**, pp. 251.
——— (1957): "マイワシ資源の解析", *ibid.*, **5**, 1–16.
——— ——・浅見忠彦 (1956): "昭和 28 年鰯資源協同研究経過報告", 南海区水研, pp. 117.
Yokota, T., T. Kitagawa and T. Asami (1953): "Basic study of fish school research by fish finder", 日水誌, **19** (4), 341–375
横田滝雄・三田典子 (1958): "太平洋南区のアジ・サバ類の研究に関する緒説", 南海水研報, **9**, 1–59.
米田勇一・吉田陽一 (1955): "イワシとその食餌プランクトンとの関係—I. マイワシの摂餌量について", 日水誌, **21** (2), 62–66.
吉原友吉 (1950): "成長曲線について" 日水誌, **16** (7), 323–328.
——— (1951): "On the fitting, the summation, and an application of the logistic curve", *J. Tokyo Univ. Fish.*, **38** (2), 181–195.
——— (1952): "生残率と体長との関係を用いた Baranov の論文について", 日水誌, **17** (11), 363–366.
——— (1955): "生物資源量の推定法", 日生態会誌, **4** (4), 177–182, **5** (1), 37–41.

Studies on the Dynamics and the Management of Fish Populations

Syoiti Tanaka

Synopsis

(**1.1, 1.2**) It is our belief that every endeavor should be made to get maximum continued yield from natural resources by managing fish population through regulation of fisheries. In order to do so, understanding of the dynamics of a fish population should be deepened on the theoretical basis, present situation of the population should be well elucidated by extensive surveys, and the problem should be considered on the practical basis. Historically, the conception of the fisheries regulation for managing fish population has been established since very early ages in Japan as well as other countries. In the field of scientific studies of fish population prior to World War II, however, Japan seemed to be behind the West. Japan should have scientific studies based on her own fisheries.

(**2.1, 2.2, 2.3**) Fish populations, like a rubber ball, are provided with resilience and repelling power against fisheries. Then, if a fish population is exploited in an intelligent manner, the population will guarantee a perpetual interest for fishermen. The relation between fishing and productivity could be analogized with the problem of balancing forces in mechanical dynamics. Since publication of the Russell's fundamental equation, each term in the equation has been evaluated by setting mathematical models of the dynamics of a fish population. Natural increase or productivity from a population is considered to be a function of the population size or density (Fig. 2.1). The conception was introduced to the fishery biology by analogy of studies on insects and other animals. Trials based on available data have been made by various authors for estimating an optimum population size which produces the maximum natural increase. This method is convenient in analysing data for the past, as it requires less information. Nevertheless, no precise result would be expected from this analysis if the natural increase is greatly affected by causes other than the population size. Especially, a great disadvantage the method has is that it cannot take into account the effect of changes in the population structure on natural increase.

(**2.4**) Baranov and his successors using mathematical models well based on many observations have developed a theory in which consideration on population structure, particularly of age, was made a starting point. Law of mortality would be assumed as exponential since the observed age compositions are, in many cases, in the manner of geometric progression (Figs. 2.2, 2.3, 2.4, 2.5). Total mortality or decreasing coefficient Z will be divided into two components; one is from natural causes, M, and the other from fishing, F. Mortality from fishing is considered, in general, to be proportional to fishing effort. As for the law of growth, it seems to be most suitable to apply Bertalanffy's growth curve. Besides its physiological base (Fig. 2.6), this growth formula is convenient for mathematical treatment and, moreover, the curve fits well to growth of most of fish (Figs. 2.7, 2.8). Linear growth in length which was used by Baranov is considered to be a special case of Bertalanffy's curve. According to the observed data, a certain year class recruits into an exploitable phase of the population over some range of age. It would be still valid, however, to assume that all fish recruit into an exploitable phase when they reach a certain age, and that recruitment of the year class spreads evenly over the year. These assumptions are accepted because of their simplicity in mathematical analysis and of good approximation in the result to an actual situation (Figs. 2.11, 2.12). As there are very few evidences that indicate dependency of abundance of recruitment upon parental population size (Fig. 2.9, 2.10), it is justifiable for a basic model to assume that the abundance of recruitment is constant regardless to the spawning amount.

(2.5) Following the above-mentioned mathematical models, population size and catch are computed. By taking a few cases of fisheries for example, each term in Russell's equation, including growth G plus recruitment A, natural mortality D and catch Y, is illustrated against population size P (Table 2.1 and Figs. 2.13, 2.14). Curves in these examples coincide each other except quantitative differences. D increases acceleratingly as P increases. So does $G+A$ but in a different manner, viz., its gradient is steep when P is small, but goes down as P becomes larger. Therefore, the curve of excess of $G+A$ over D, that is natural increase and equal to catch Y in equiliblium fishing, first increases rapidly, then slows down and reaches a point of maximum excess at a certain level of P. After passing this point the excess begins to decrease.

Different values of fishing coefficient F produce different catches Y on the basis of steady state of a population (Figs. 2.15, 2.16, 2.17). Summarizing the relation between Y and F, generally the maximum Y appears at an intermidiate value of F; and value of F which provides the maximum Y is large for a population when it consists of a few different age groups or when fish grow more slowly than do they at pre-exploited stage or when natural mortality M is high. The relation between Y and minimum exploited age x_c is demonstrated in a similar way (Figs. 2.18, 2.19). The results are summarized as follows: Generally the maximum Y appears at a certain value of x_c; and value of x_c which provides the maximum catch is small in cases of small growth in high age groups, or value of F low or value of M high.

It should be necessary to extend the above-mentioned theory from the steady state to a state of the transition period when the effects of a change in fisheries are being examined (Fig. 2.20). Sudden reduction of F once decreases catch which later will recover to a level higher or lower than the present level, depending upon whether the population is overfished or not (Fig. 2.21). On the contrary, intensifying of fishing once increases catch which will soon fall down (Fig. 2.22). This is true both in overfished and underfished population. Therefore, neither temporary increase of catch necessarily means an increase in permanent base nor rapid decrease of catch overfishing.

(2.6) The relation between natural increase $(G+A-D)$ and population size P is usually discussed in the theory of sigmoid curve, but it will still be interesting to demonstrate an example of curve which will be derived from the models of Baranov's line. The curve in steady state resembles in general tendency to parabolic shape in logistic theory (Fig. 2.28), and has a maximum value at an intermediate level of population size. However, this relation is easily modified by change of age composition, as an age composition may be highly productive while another age composition may be very poor under the same size of population (Figs. 2.23–2.27). This fact may suggest a possibility of realizing and maintaining a productive age composition by selective fishing. Value of natural increase in transition period is much different from that in a steady state because of peculiarity of the age composition in that period (Figs. 2.28, 2.29). A fish population is always exposed to various disturbances due to fluctuation in both fishing and other factors and will never reach a dead steady state. Since observed natural increase may show considerable variability under the same population size, the sigmoid curve theory may have limitation in applying to fisheries problems in hand.

(3.1, 3.2) The above-mentioned models and dynamics would be significant as fundamental ones. Nevertheless, situations in an actual population would be more complicated. Biological evidences on hand have not yet been good enough for thoroughly introducing these complexity and variability into mathematical models. Here, discussions are presented on the effects of deviation from the simple models upon the dynamics of population in several questions which have been often raised. In the first place, the effect of variable mortality coefficients F and M are considered. Take a case in which recruitment occurs over several ages for example. It has been demonstrated that the age of a half recruited group shows fairly good approximation to x_c (Figs. 3.1–3.3). Different types of fisheries may exploit selectively different stages of fish (Fig. 3.4), but the situation cannot be more complicated than that of a single fishery in which F varies by age. Values of F and M in dominant age groups have a marked influence on the dynamics of the whole population. Therefore, high mortality in old ages to which only a few fish survive usually has minor effect (Table 3.1 and Figs. 3.5, 3.6). This

is also the case with larval stage, because biomass of these fish is not large in proportion to total biomass if fishing rate is not extremely high (Tables 3.2, 3.3 and Figs. 3.7–3.10). A pair of constant mortality coefficients F_0 and M_0 may substitute as an approximation for F and M which vary by age (Figs. 3.11, 3.12). The fishery which is equated to an actual situation in a certain aspect by assigning particular values of F_0 and M_0 could be called "equivalent trawl fishery". Generally it is not easy matter, however, to compute exact values of F_0 and M_0 from F and M of an actual fishery.

(**3.3**) The effects of variability of growth curve by region, sex and stock size have been examined (Figs. 3.13–3.16). Of two parameters in BERTALANFFY's growth curve, w and K, effect of variation in w will be considered rather in a simple way. If w is constant regardless of population size, heterogeneity of w within a stock would constitute no matter for management of the population. Variation of K complicates the situation. However, minor change in K would modify but little the relation between fishing intensity and catch (Table 3.4 and Figs. 3.17–3.21). Sometimes growth curve, and usually range of exploited ages as well, differ considerably between sexes (Table 3.5 and Fig. 3.16). Hence value of F which provides maximum catch, and also maximum catch itself differ much by sex. In a stock in which both sexes are mixed up, characters of a dominant sex (as it grows faster and survives to older ages) almost decide those of the mixed population as a whole (Fig. 3.22).

(**3.4**) It is plausible that abundance of recruitment plays the most important part among the natural causes of fluctuations of a population. From the viewpoint of population management, dependency of recruitment upon spawning population size is important. Nevertheless, few instances show evidences of the dependency, most of which are for inland waters (Fig. 3.26). The number of recruit R directly affects catch Y. But yearly fluctuations of recruitment could be averaged out no matter how large they are, if R varies independently of spawning population size.

Various models of dependency of mortality upon density of fish will result in either one of two types of reproduction curve. In one type, R increases monotonously (usually asymptotically) as the amount of spawning E increases; in the other type, R has a maximum value at an intermediate level of spawning abundance (Figs. 3.28–3.30). A typical example of the former is reproduction curve proposed by BEVERTON and HOLT (1957), and of the latter is that presented by RICKER (1954). Fitting of reproduction curve of BEVERTON and HOLT or RICKER to actual data is reduced to a simple straight line fitting by some modification of the formula (Figs. 3.31, 3.32). However, there should be many difficulties in applying the method to the data (Figs. 3.33, 3.34). Fluctuation in environmental conditions may introduce some random variation in reproduction, but still a population could be managed according to average environment (Fig. 3.35). It may probably be better, under a certain condition, to keep the abundance of escapement constant than to fix fishing rate.

(**3.5**) Although some important studies for community of fish in the sea have been commenced recently, accumulated knowledge is still poor at the present stage. A model example is presented here. Suppose that a prey co-exists with a predator and that mortality coefficient of the prey by predation is proportional to the abundance of the predator (Table 3.6). When fisheries are exploiting both groups of fish, total production could be increased by overfishing the predator population and thereby lessening mortality of the prey (Fig. 3.36). If so, it would be of little significance to take each population separately.

(**3.6**) It seems to be very difficult, if not impossible, to predict precisely the future status of a population that will come after serious changes in fishery or environmental factors. The reason is that the changes in these factors would change the population, first without affecting function of, but through the present structure of, productivity, and then the change in turn would alter the future structure of productivity itself. Nevertheless, some information may be obtained on changing rate of catch at the present status due to increasing or decreasing the fishing intensity or other characteristic values of the fisheries. This changing rate is, in other words, gradient or partial differential coefficient of catch at the present point. If the gradient is found positive or negative, the information, however imperfect, can still serve very much for our purpose. Provided that our consideration is limited within a neigh-

bourhood of the present point, change in various parameters due to deviation of the status of a population from the present point would be approximated by linear lines. Thus it might not be so difficult to take into account the variability of parameters, e.g., density dependent growth and mortality. Direction of isopleth lines at the present point in an isopleth diagram is computed from the partial differential coefficients, and the most efficient way of changing fishery might be decided in relation to the cost necessary for fisheries regulations (Fig. 3.37).

(**4.1, 4.2**) Values of various parameters which are pertinent to the dynamics of a fish population have to be estimated by intensive surveys. Most of data are collected through commercial catch, and various sampling techniques are applied to estimation. In Japan after the World War II, sampling techniques have been widely used in various fields and fisheries biology as well. Among many instances of application to fisheries biology, survey of catch statistics and sampling of specimen for body measurement are the most important. Stochastic sampling of fish from commercial catch started in 1950 in the survey of bottom fish in the East China Sea, and rapidly extended to other areas and different types of fish. General rule of the method for estimating length composition in the commercial catch is as follows: 1) samples are taken at designated stations (port) along the coast by means of multistage (usually three-stage) sampling, in which days, boats, containers, individuals, etc. are regarded as sampling units; 2) length composition at the station is estimated from samples; 3) this composition is applied to the total catch in the prefecture, and the number of fish by length in the catch is obtained (Table 4.1). Estimated length composition at a station is often much affected by large variance between boats. Usually, however, this is true only in absolute value, and fairly good precision could be expected for relative value, that is percentage composition. These circumstances confirm the validity of the method of ratio estimate combined with catch statistics (Fig. 4.1). Error in measurement would not affect seriously the results unless it excesses an ordinary extent, though, it has some effect of smoothing the composition like moving average (Table 4.2 and Fig. 4.2).

(**4.3, 4.4**) Age composition, as well as catch and effort statistics, constitutes an essential part of information for the population study. It can be obtained directly by sampling fish and determining the age of individuals. As yet, the precision would be much improved if length composition is combined with age data. Fairly good precision may be secured from rather small age sample by using age-length key. Proportion of each age group within every length interval is estimated from age sample. These proportions are averaged for each age group among length intervals by weighing them by length composition. Then age composition as a whole is obtained (Tables 4.3–4.7). As this technique implies stratification by length for estimation, if fish grow so fast that length of each age group overlaps but little, effect of stratification is remarkable.

Survival rate of fish will be estimated from age composition. The rate thus obtained consists of the ratio of two percentages, and precision of the rate is computed by applying the ratio estimate technique (Fig. 4.3). As precision of the age composition is improved by stratification by length, survival rate from this age composition would have better precision than that from age composition estimated directly (Tables 4.9, 4.10).

(**4.5**) Length composition is often used as an auxiliary variable. However, it will serve as useful information as it is. If it is difficult to determine age of fish, length composition will give some inference to it. Mode of length distribution is a useful clue of analysing length composition into its components, e.g., age-group. Distribution in mixture of two normal populations has one or two modes depending upon the distance between two means. If the distance is large enough to give two modes in a distribution, each mode roughly indicates the location of each mean of unit group, and relative height of modes presents the rough estimate of mixing rate. Analysis has been made for the series of length compositions of Japanese anchovy in the waters of Enshu-nada and Ise Bay in the central Pacific Coast of Japan, with special attention being paid to the modes (Fig. 4.4). Growth curves and some suggestion on migration of fish have been obtained (Fig. 4.5). Mixture of normal populations would be analysed into each component by simple graphical method fitting parabolas to the polymodal distribution, which is illustrated in logarithmic scale (Fig. 4.6). By this means length com-

position of porgy in the East China Sea has been analysed, and age composition, growth curve and some other information are obtained without using any age data (Table 4.12 and Fig. 4.7).

(**4.6**) Various techniques have been presented so far for estimating population size. They are roughly classified into three categories: a) tagging experiments, b) analysis of the relation among fishing intensity, catch and mortality, and c) direct counting. Tagging experiments which were operated during a whaling season in the northern Pacific for fin whale are taken here for example of the first case (Tables 4.13–4.19). Owing to insufficient number of recapture, accuracy of the estimate is very poor and confidence interval may cover such a wide range as 5,000–50,000. In the second method applied to Hokkaido herring, total mortality coefficient in each year is related to the number of set nets in that year (Fig. 4.8). The result shows no significant correlation between them, perhaps partially due to inadequacy of the data for this type of analysis. Estimation of spawning amount by plankton net hauling is an instance of the third case. Spawning amount of sardine in the waters adjacent to Kyushu (Fig. 4.11) was estimated to be 49×10^{12} for 1952 and its coefficient of variation about 17%. However, as this estimate must be much biased by filtering rate of net, mortality of eggs, etc., actual abundance could be twice as much as the estimate (Table 4.20). This fact well speaks that difficulties in the spawning survey would lie not in the sampling error but in accuracy of the observation itself.

(**4.7**) To estimate absolute abundance of a population is, as it is clear from above-mentioned examples, very difficult if not impossible. Therefore, it will be preferable to take a relative index of stock size for tracing the fluctuation of the population size. Although catch per unit effort provides useful information on relative size of population, it is quite dependent upon effectiveness of fishing effort which varies in accordance with correlation between special distributions of fishing effort and density of fish. This effect of correlation can be eliminated by computing the "effective intensity", the average of efforts among areas weighed by density of fish in each area. Catch per unit of effective intensity would present much better index of population size. This method has been applied to two examples, porgy and *Saurida* spp. in the East China Sea (Figs. 4.12, 4.13). Catch per unit effort shows much seasonal variation due to seasonal shift of main fishing grounds, whereas catch per unit of effective effort shows only a minor fluctuation. The higher the correlation between fishing effort and density of fish, the greater the effectiveness of fishing effort and, therefore, effective effort, are.

Time-distribution of effort is not a serious matter provided that all parts of a population stay within the fishing ground throughout the year. However, if availability, the ratio of the fish within the fishing ground to the total population, is less than unity and varies from season to season, the situation becomes much complicated. Correlation between availability and fishing effort makes effectiveness of effort high. The method which is used for estimating natural mortality from the relation between fishing effort and total mortality, when all fish are assumingly available to fishery, cannot be applied to a partially fished population, without resulting in a bias that depends on the movement of fish coming in and out the fishing ground.

(**5.1**) Management of a fish population is, so to speak, to keep by regulating fisheries characteristic parameters of the population at the values which provide maximum profit for mankind. A fishery has two aspects: fishing intensity as a whole and selectivity (Fig. 5.1). Fisheries regulation should be considered in either one of these two respects. Fishing intensity being taken on one axis and selectivity on the other in two dimensional plane, the condition of a fishery is expressed by a point on the plane. Isopleth diagram of various quantities on the plane will help to form a judgement on managing a population. Restriction of fishing effort or mesh size is the most direct measure for regulation. Closing areas or periods could be applied to protecting fish in their specially vulnerable period or in particular stage, say young, by taking advantage of their seasonal occurrence to a particular area that varies by age, by sex, etc. A judgement will be formed from an isopleth diagram referring to effective fishing intensity on particular types of fish. A fishing gear will be prohibited if it has undesirable selectivity or a particular effect on a population, for instance, to disturb

migration to spawning grounds. It cannot be made a reason, however, for prohibiting a type of gear only because it is much efficient for catching legal sized fish.

(5.2) Some problems in Japanese fisheries will be discussed in the following. In the first place, Japanese sardine population is taken to consider how to rationalize the fisheries. Surveys reveal that 0-age group occupies more than 50% in weight and more than 90% in number in total catch (Tables 5.1, 5.2). It may be a question whether or not such intensive fisheries on young fish is permissible.

For estimating parameters of Bertalanffy's growth curve, length compositions are illustrated by age and by season. The curve is fitted on the series of compositions (Figs. 5.2, 5.3). Length composition of catch of the whole year is converted into age composition by using growth curve (Fig. 5.4). The age composition indicates that the life span can be divided into three stages : larva, small-sized or young, and large-sized or spawning adult. These stages are characterized not only by size of fish but also by fishing season, area, and types of gear. Consideration is limited here to small and large-sized fish.

Two dimensional isopleth diagram is formed by taking fishing coefficient of either one of the stages for each axis (Fig. 5.7). A number of pairs of natural mortalities for small and large sardines are assumed for calculation. The point which represents the present situation of fisheries will be located on the diagram by putting catch ratio by weight of young to adult as 2 : 1 and survival rate of adult as 0.5.

Judging from the direction of isopleth line of catch around the present point, it could be said that if natural mortalities of both young and adult fish are low, fisheries should be reduced for young, but extended for adult. If natural mortalities are high, fisheries for both should be extended. Apart from the case of extremely high natural mortalities, some increase in catch would be expected, without decreasing the population size of spawning adult, by reducing fishing intensity for young and extending it for adult (Fig. 5.8). Having no definite values of natural mortality for both stages, no further conclusion will be deduced. However, a proporsal may be made to cut down a part of fishing intensity for young fish, the measure which would be expected to contribute much to our knowledge as a large scale experiment.

(5.3) The next example is anchovy population in the water around Enshu-nada and Ise Bay on the Pacific side of the central Japan. Larval anchovy is caught in Enshu-nada and adult form (usually immature) in Ise Bay, both apparently belonging to the same population. In contrast with sardine, anchovy catch has been on the increase for recent years. As anchovy population would not be easily overfished because of its specific ecology, there would be no urgent problem for it. However, it will be worthwhile to examine the effects of fishing on larval fish and the effect of closing season which is being enforced on fishery in Ise Bay at present.

It is rather easy to estimate growth curve of anchovy from seasonal change of length composition (Table 5.4 and Figs. 5.11–5.14). This growth curve is used for converting length composition into age (in month) composition, from which age ranges of larvae and adult form are decided. Total mortality coefficient for each stage has been calculated, though roughly, from age composition for larvae in Enshu-nada (Table 5.5 and Fig. 5.15), and from monthly change of catch per trip for adult forms in the Bay (Table 5.6). Division of total mortality coefficient into its two components by analysing the relation between fishing effort and total mortality has brought forth no sufficient result (Tables 5.5, 5.6 and Figs. 5.16–5.19). Total mortality in both stages is very high. The fact may suggest that these coefficients include decreasing rate affected by fish going out from fishing ground.

Referring to information available so far, a model for dynamics of anchovy population is set up by assuming that larvae, which have escaped from Enshu-nada fishing ground, recruit to adult population and enter the Bay. In order to calculate total catch from the population, fishing and natural mortality coefficients of larvae and adult forms and escaping coefficient from Enshu-nada have to be known. All these five parameters are not independent each other because some relations should be held between them. First, fishing and natural mortalities should form the total mortality. In case of larvae, escaping rate should be included in the total mortality. The total mortality is known for both forms. Secondly, ratio of catch

from adult forms to catch from larvae should be conformed to 3.5 : 1 which is approximately the average ratio for these years (Table 5.7). Any two of the five parameters can stand independently. For them fishing coefficient of each stage is taken.

Here again two dimensional isopleth diagram may be formed. But in this case, instead of drawing a diagram, direction of isopleth line and gradients of catch by deviation of fishing coefficients at the point of present condition are computed directly (Figs. 5.20, 5.21). The results reveal that, regardless the natural mortality of adult form, catch would be increased by fishing more intensively, and fisheries for larvae would not be harmful if present fishing rate is not extremely high. However, substantial increase in catch could be expected only if fishing rates at present state are low for both stages (Fig. 5.22). Optimum opening date for the fishery in the Bay may be changed depending on evaluation of the present fishing rate, as early opening would be preferable if the fishing rate is low, and *vice versa* (Fig. 5.22). There is possibility that the present fishing rate is just between two extremes so that no change is necessary.

In summarizing the results of analysis of the anchovy fishery, it should be stated that there is no indication which justifies reduction of fishing intensity both for larvae and adult forms. Neither evidence is strong enough to recommend any measures for intensifying fisheries. But fishermen should be left free to increase their fishing effort when they want to. Although enforcement of closing season in the Bay might be questionable from biological point of view and could not be said quite effective, it may not be definitely unreasonable. In short, with no necessity to amend the present situations, an emphasis should be put on the study for predicting future fishing condition so as to benefit fishermen.

(**5.4**) The last but not the least problem is bottom fishes in the East China and Yellow Seas, for which trawl fishery has been operated mostly by a handful number of large enterprises. Long series of detailed statistics were available for various authors to discuss dynamics of these fish. The history of commercial operation in this region seems to offer a typical example of the trawl industry, as it has proceeded through such vicissitude as increase of fishing effort, decrease of high valued fish, more exploitation of low valued fish, exploitation of new and far distant fishing grounds, depletion in many populations and so on. Suspension of the fishery during the war time has apparently restored some population before the fishery was rebuilt. Around 1949 a few papers were published to warn overfishing and depletion of population. Despite ten years having past after the warning, however, more intensive fishing has provided a greater amount of catch, and almost all the fish populations seem to have been stabilized by now (Tables 5.8–5.10).

The method presented by Beverton and Holt is applied to these fish populations and isopleth diagrams are drawn for seven species of fish. Sum of the catches of these fishes cover nearly a half of the total (Table 5.11). For these fishes, growth curve and range of exploited phase and also some information on mortality rate have been considered on the basis of data available from the surveys carried out after the war (Tables 5.12–5.14 and Figs. 5.23–5.27). Since direction of isopleth line at the point of present condition is rather parallel to the abscissa, little increase would be expected by reducing fishing intensity, whereas protection of small fish may be effective (Fig. 5.28). Except for yellow croaker, *Pseudosciaena manchurica*, the results show that 20% increase in catch will be expected by raising x_c up to a half or one year older fish. Through intermediate functions, growth curve and selectivity of net, x_c corresponds to mesh size of net (Table 5.15 and Figs. 5.29–5.30). Fifty percent selective point is a good reference point as approximation. Effect of enlarging mesh size differs depending on species. It would be effective for porgy, *Taius tumifrons*, and lizard fish, *Saurida tumbil*, but might not be so for others. Because it would be required for realizing a substantial increase in catch to enlarge mesh size up to 10–12 cm. which is almost twice as large as the one now in use and practically unadoptable (Fig. 5.31). For latter fishes, it seems that present x_c is more affected by age of fish migrating into the fishing ground as well (Fig. 5.31).

Above-mentioned results will lead to a conclusion that an increase in fishing effort will turn out wasteful, while curtailment in it will result in only a little increase of catch; and

enlargement of mesh size would be preferable but not promise much. All possible measures should be examined including closing season and area and mesh size regulation so as to protect undersized fish efficiently. In order to do so, selectivity of mesh and distribution of young fish by area and season should be well established.

Some trial computation may be possible for the effects of closing areas and seasons on the basis of catch statistics by market category which are available for some of important fishes. For the computation, however, all important species and market categories should be taken into consideration simultaneously, and help of an electric computer of a sufficient size would be required. Here, only two species are taken separately for example with view to demonstrating the conception and the method. Catch statistics of porgy by market category show that extra small fish (mostly 1-age fish) dominated in the waters off Kyushu areas, whereas small and larger fish in the southern areas in the East China Sea (Fig. 5.32). Density of porgy by market category, region and month is computed from the data averaged for 1954–55. The results indicate that about 25% of effective fishing intensity can be cut off for extra small fish, and kept at the present level for small and larger fish by closing regions I and II northwest and west of Kyushu, respectively, and by directing the effort in these regions to the southern areas in the East China Sea (Table 5.6). Take white croaker, *Argyrosomus argentatus*, for another example. The situation may be further simplified by assuming the distribution of fish to be one dimensional and by taking the section along the line of 30° North Latitude as representative (Fig. 5.33). Measure for protecting only small croaker and leaving medium and large ones under full exploitation is to be sought on the basis of density by area averaged from data for 1954–57 (Tables 5.17, 5.18). Closure either of central area or of seasons from January to May would reduce effective fishing intensity for small fish by 13.5% or 17.5%, respectively. These examples indicate that selective fishing by market category is rather a difficult matter.

(**5.5**) Conclusions from analysis for sardine, anchovy and bottom fishes have been presented above on the basis of available information. These conclusions, however, would be understood as proposal of a possibility rather than a definite statement. Necessary data are not always available even for those fishes which have been most extensively investigated. This fact would well speak about difficulties of studies on fish population. These difficulties may be originated from the lack of appropriate means for observations. However, no one could expect much of improvement in instruments and techniques in the near future. The lack of means could be supplemented by repetition, but only in case long series of data are free from heterogeneity among data.

Any hypothesis or conclusions from theoretical analysis should be verified against actual results. Small scaled laboratory experiment or model experiment cannot be a proof for actual fishery, though they will increase our knowledge on a fish population. This does not necessarily imply need of imposing administrative or technical steps on commercial fisheries, as any change in situation that occurs naturally can be utilized. However, such a change which occurs rather randomly would be ineffecient and could not provide sufficient information.

When approaching the target, our procedure may be guided in a similar manner as in automatic control. A fish population would be controlled to around the most preferable point, in spite of various disturbances caused by internal and external factors, through series of procedures and their repetition including: to set up a standard for judging the situation, to investigate the fish population for getting data necessary for a judgment, then to decide an action according to the standard, and to regulate fishery so as to manage the fish population. Various effects of the action are again observed and the action in the next stage will be decided. Any conclusions obtained in trial should be made use of for managing fish population even if the conclusion is not a complete and final one. When the conclusion is found wrong, it does not mean failure but means that our knowledge has been proceeded into higher steps. Surveys and studies for fisheries resources should be continued as long as fisheries do.

$D_0(\xi, Z')$ の表
Table of $D_0(\xi, Z')$

$$D_0(\xi, Z') = \left(1 - \frac{3Z'}{1+Z'} e^{-\xi} + \frac{3Z'}{2+Z'} e^{-2\xi} - \frac{Z'}{3+Z'} e^{-3\xi}\right)$$

Z' \ ξ	0.0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	Z'
0.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0
0.1	0.8379	0.8463	0.8548	0.8717	0.8880	0.9034	0.9174	0.9299	0.9410	0.9505	0.9587	0.9656	0.9715	0.9764	0.9805	0.9839	0.9875	0.1
0.2	.7102	.7246	.7391	.7685	.7974	.8247	.8498	.8724	.8923	.9097	.9245	.9372	.9479	.9568	.9643	.9706	.9758	0.2
0.4	.5253	.5467	.5689	.6147	.6608	.7052	.7465	.7840	.8173	.8464	.8715	.8929	.9110	.9263	.9391	.9497	.9585	0.4
0.6	.4006	.4254	.4515	.5068	.5636	.6192	.6715	.7194	.7622	.7997	.8322	.8601	.8836	.9035	.9202	.9341	.9457	0.6
0.8	.3133	.3394	.3674	.4280	.4916	.5549	.6150	.6704	.7202	.7640	.8021	.8348	.8625	.8859	.9056	.9220	.9357	0.8
1.0	.2500	.2763	.3051	.3686	.4367	.5053	.5710	.6321	.6872	.7359	.7782	.8148	.8457	.8720	.8940	.9124	.9278	1.0
1.2	.2029	.2288	.2576	.3225	.3936	.4660	.5360	.6014	.6606	.7131	.7589	.7985	.8321	.8606	.8846	.9046	.9213	1.2
1.4	.1671	.1922	.2207	.2862	.3591	.4343	.5075	.5763	.6388	.6944	.7430	.7851	.8208	.8512	.8767	.8981	.9159	1.4
1.6	.1393	.1635	.1914	.2568	.3309	.4081	.4839	.5554	.6206	.6787	.7297	.7738	.8113	.8432	.8701	.8926	.9113	1.6
1.8	.1175	.1407	.1678	.2328	.3076	.3864	.4641	.5378	.6052	.6655	.7183	.7642	.8033	.8364	.8644	.8879	.9075	1.8
2	.1000	.1221	.1485	.2129	.2881	.3680	.4472	.5228	.5920	.6540	.7086	.7559	.7963	.8306	.8596	.8838	.9041	2
2.5	.0693	.0889	.1134	.1756	.2509	.3325	.4145	.4933	.5661	.6315	.6893	.7395	.7824	.8190	.8499	.8758	.8974	2.5
3	.0500	.0675	.0901	.1500	.2247	.3071	.3909	.4719	.5471	.6150	.6750	.7273	.7721	.8103	.8426	.8697	.8924	3
3.5	.0373	.0529	.0739	.1316	.2055	.2882	.3731	.4557	.5326	.6023	.6640	.7179	.7642	.8036	.8370	.8651	.8885	3.5
4	.0286	.0426	.0621	.1178	.1908	.2736	.3592	.4429	.5212	.5923	.6553	.7105	.7579	.7983	.8326	.8613	.8854	4
4.5	.0224	.0350	.0534	.1072	.1794	.2621	.3481	.4327	.5120	.5842	.6483	.7045	.7527	.7940	.8289	.8583	.8829	4.5
5	.0179	.0294	.0466	.0988	.1701	.2527	.3391	.4243	.5044	.5775	.6425	.6995	.7485	.7904	.8259	.8558	.8808	5
5.5	.0144	.0249	.0413	.0920	.1625	.2449	.3315	.4173	.4981	.5718	.6376	.6952	.7449	.7873	.8233	.8536	.8790	5.5
6	.0119	.0216	.0371	.0865	.1563	.2385	.3252	.4114	.4927	.5671	.6334	.6917	.7418	.7847	.8212	.8518	.8775	6
6.5	.0099	.0188	.0336	.0819	.1510	.2329	.3198	.4063	.4881	.5629	.6298	.6886	.7392	.7825	.8193	.8502	.8761	6.5
7	.0083	.0166	.0308	.0780	.1465	.2282	.3151	.4019	.4841	.5594	.6267	.6858	.7369	.7805	.8176	.8488	.8750	7
7.5	.0070	.0148	.0283	.0746	.1426	.2240	.3110	.3980	.4805	.5562	.6239	.6835	.7348	.7788	.8162	.8476	.8740	7.5
8	.0060	.0133	.0264	.0718	.1392	.2204	.3074	.3946	.4774	.5534	.6215	.6814	.7330	.7773	.8149	.8465	.8731	8
8.5	.0053	.0121	.0247	.0693	.1362	.2173	.3043	.3916	.4747	.5510	.6193	.6795	.7314	.7759	.8137	.8456	.8723	8.5
9	.0045	.0109	.0232	.0671	.1336	.2144	.3014	.3889	.4722	.5487	.6174	.6778	.7300	.7747	.8127	.8447	.8716	9
9.5	.0040	.0101	.0219	.0652	.1312	.2119	.2989	.3865	.4700	.5467	.6156	.6763	.7287	.7736	.8118	.8439	.8709	9.5
10	.0035	.0093	.0208	.0635	.1291	.2096	.2966	.3843	.4679	.5449	.6140	.6749	.7275	.7726	.8109	.8432	.8703	10
10.5	.0031	.0086	.0198	.0619	.1272	.2075	.2945	.3823	.4661	.5433	.6126	.6736	.7264	.7717	.8102	.8426	.8698	10.5
11	.0028	.0080	.0189	.0606	.1255	.2057	.2926	.3805	.4644	.5418	.6112	.6725	.7254	.7708	.8094	.8420	.8693	11
11.5	.0025	.0075	.0182	.0593	.1240	.2040	.2909	.3789	.4629	.5404	.6100	.6714	.7245	.7701	.8088	.8414	.8688	11.5
12	.0022	.0070	.0174	.0582	.1225	.2024	.2893	.3773	.4615	.5391	.6089	.6705	.7237	.7693	.8082	.8409	.8684	12
12.5	.0019	.0065	.0167	.0571	.1212	.2009	.2878	.3759	.4602	.5379	.6078	.6695	.7229	.7687	.8076	.8405	.8680	12.5
13	.0018	.0062	.0162	.0562	.1200	.1996	.2865	.3746	.4590	.5369	.6069	.6687	.7222	.7681	.8071	.8400	.8676	13
13.5	.0016	.0059	.0157	.0553	.1189	.1984	.2852	.3734	.4578	.5358	.6060	.6679	.7215	.7675	.8066	.8396	.8673	13.5
14	.0015	.0056	.0152	.0545	.1179	.1972	.2840	.3723	.4568	.5349	.6052	.6672	.7209	.7670	.8062	.8393	.8670	14
14.5	.0013	.0053	.0148	.0538	.1169	.1962	.2829	.3712	.4558	.5340	.6044	.6665	.7203	.7665	.8058	.8389	.8667	14.5
15	.0013	.0051	.0144	.0531	.1161	.1952	.2819	.3703	.4549	.5332	.6036	.6659	.7197	.7660	.8054	.8386	.8664	15
20	.0006	.0035	.0118	.0483	.1097	.1881	.2746	.3631	.4482									
∞	.0000	.0009	.0060	0.358	.0919	.1671	.2524	.3412	.4276	.5084	.5815	.6466	.7031	.7518	.7933	.8284	.8579	∞

$D_0(\xi, Z')$ の表 （続き） Table of D_0 (ξ, Z')—Continued.

Z' \ ξ	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	∞	Z'
0.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0
0.1	0.9891	0.9911	0.9927	0.9940	0.9951	0.9959	0.9967	0.9973	0.9978	0.9982	0.9985	0.9988	0.9990	0.9992	0.9993	1.0000	0.1
0.2	.9801	.9836	.9865	.9890	.9909	.9926	.9939	.9950	.9959	.9966	.9972	.9977	.9982	.9985	.9988	1.0000	0.2
0.4	.9659	.9720	.9770	.9811	.9845	.9873	.9895	.9914	.9930	.9942	.9953	.9961	.9968	.9974	.9979	1.0000	0.4
0.6	.9553	.9632	.9698	.9752	.9796	.9833	.9863	.9888	.9908	.9925	.9938	.9949	.9958	.9966	.9972	1.0000	0.6
0.8	.9471	.9565	.9642	.9706	.9759	.9802	.9838	.9867	.9891	.9911	.9927	.9940	.9951	.9960	.9967	1.0000	0.8
1.0	.9405	.9510	.9598	.9669	.9729	.9777	.9817	.9850	.9877	.9899	.9918	.9932	.9945	.9955	.9963	1.0000	1.0
1.2	.9352	.9466	.9561	.9640	.9704	.9757	.9801	.9837	.9866	.9890	.9910	.9926	.9940	.9951	.9960	1.0000	1.2
1.4	.9307	.9430	.9531	.9615	.9684	.9740	.9787	.9825	.9857	.9883	.9904	.9921	.9935	.9947	.9957	1.0000	1.4
1.6	.9269	.9399	.9506	.9594	.9666	.9726	.9775	.9816	.9849	.9876	.9899	.9917	.9932	.9944	.9954	1.0000	1.6
1.8	.9237	.9372	.9484	.9576	.9651	.9714	.9765	.9808	.9842	.9871	.9894	.9913	.9929	.9942	.9952	1.0000	1.8
2	.9209	.9349	.9465	.9560	.9639	.9703	.9757	.9801	.9836	.9866	.9890	.9910	.9926	.9940	.9951	1.0000	2
2.5	.9154	.9303	.9427	.9529	.9613	.9682	.9739	.9786	.9825	.9856	.9882	.9904	.9921	.9935	.9947	1.0000	2.5
3	.9112	.9269	.9399	.9506	.9594	.9667	.9726	.9776	.9816	.9849	.9876	.9899	.9917	.9932	.9944	1.0000	3
3.5	.9080	.9242	.9377	.9488	.9579	.9654	.9716	.9767	.9809	.9844	.9872	.9895	.9914	.9930	.9942	1.0000	3.5
4	.9055	.9221	.9359	.9473	.9567	.9644	.9708	.9761	.9804	.9839	.9868	.9892	.9912	.9928	.9941	1.0000	4
4.5	.9034	.9204	.9345	.9461	.9557	.9636	.9702	.9755	.9799	.9836	.9865	.9890	.9910	.9926	.9939	1.0000	4.5
5	.9016	.9189	.9333	.9451	.9549	.9630	.9696	.9751	.9796	.9833	.9863	.9888	.9908	.9924	.9938	1.0000	5
5.5	.9001	.9177	.9323	.9443	.9542	.9624	.9692	.9747	.9793	.9830	.9861	.9886	.9906	.9923	.9937	1.0000	5.5
6	.8989	.9167	.9314	.9436	.9536	.9619	.9688	.9744	.9790	.9828	.9859	.9884	.9905	.9922	.99364	1.0000	6
6.5	.8978	.9158	.9307	.9430	.9531	.9615	.9684	.9741	.9788	.9826	.9857	.9883	.9904	.99215	.99357	1.0000	6.5
7	.8968	.9150	.9300	.9424	.9527	.9611	.9681	.9739	.9786	.9824	.9856	.9882	.9903	.99207	.99351	1.0000	7
7.5	.8960	.9143	.9294	.9420	.9523	.9608	.9678	.9736	.9784	.9823	.9855	.9881	.99024	.99201	.99345	1.0000	7.5
8	.8952	.9137	.9289	.9415	.9519	.9605	.9676	.9734	.9782	.9821	.9854	.9880	.99017	.99195	.99340	1.0000	8
8.5	.8946	.9131	.9285	.9412	.9516	.9603	.9674	.9733	.9781	.9820	.9853	.98792	.99011	.99189	.99336	1.0000	8.5
9	.8940	.9126	.9281	.9408	.9514	.9600	.9672	.9731	.9779	.9819	.9852	.98785	.99005	.99185	.99332	1.0000	9
9.5	.8934	.9122	.9277	.9405	.9511	.9598	.9670	.9730	.9778	.9818	.9851	.98779	.99000	.99180	.99329	1.0000	9.5
10	.8929	.9117	.9273	.9402	.9509	.9597	.9669	.9728	.9777	.98174	.98503	.98773	.98995	.99176	.99325	1.0000	10
10.5	.8925	.9114	.9270	.9400	.9507	.9595	.9667	.9727	.9776	.98166	.98496	.98768	.98991	.99173	.99323	1.0000	10.5
11	.8921	.9110	.9267	.9397	.9505	.9593	.9666	.9726	.97754	.98159	.98491	.98763	.98987	.99170	.99320	1.0000	11
11.5	.8917	.9107	.9265	.9395	.9503	.9592	.9665	.9725	.97746	.98152	.98485	.98759	.98983	.99167	.99317	1.0000	11.5
12	.8913	.9104	.9262	.9393	.9501	.9590	.9664	.9724	.97738	.98146	.98480	.98754	.98979	.99164	.99315	1.0000	12
12.5	.8910	.9102	.9260	.9391	.9500	.9589	.9663	.97234	.97731	.98140	.98475	.98751	.98976	.99161	.99313	1.0000	12.5
13	.8907	.9099	.9258	.9390	.9498	.9588	.9662	.97227	.97725	.98135	.98471	.98747	.98973	.99159	.99311	1.0000	13
13.5	.8904	.9097	.9256	.9388	.9497	.9587	.9661	.97219	.97719	.98130	.98467	.98744	.98971	.99157	.99309	1.0000	13.5
14	.8902	.9095	.9254	.9387	.9496	.9586	.9660	.97212	.97713	.98125	.98463	.98741	.98968	.99155	.99307	1.0000	14
14.5	.8899	.9093	.9253	.9385	.9495	.9585	.96593	.97206	.97708	.98121	.98460	.98738	.98966	.99153	.99305	1.0000	14.5
15	.8897	.9091	.9251	.9384	.9494	.9584	.96586	.97200	.97703	.98117	.98456	.98735	.98964	.99151	.99304	1.0000	15
∞	.8826	.9032	.9203	.9344	.9460	.9557	.96361	.97015	.97551	.97992	.98354	.98651	.98895	.99094	.99258	1.0000	∞

SOME ASPECTS IN THE DISTRIBUTION OF FUR-SEALS IN THE NORTH PACIFIC*

Fukuzo Nagasaki

Introduction

One of the major troubles in evaluating fur-seal samples taken either on sea or on a breeding island is that seals do not distribute evenly with regard to age and sex. On land, they make social segregation which may be largely originated from their reproductive behavior. Significant segregation is also observed even in their pelagic life. In addition, seals in a certain area at sea comprise different origins which are quite different in their population size. The present paper is an attempt to clarify some aspects in such complicated distribution of this animal. As to the intermingling during their pelagic life, only the area off Sanriku and Hokkaido is considered in this paper.

Segregative distribution of fur-seal

On land

Fur-seals form a conspicuous mating group called "harem" during their breeding season. Being incidental to this reproductive behavior, a group of seals participating in reproduction is isolated from others such as young males or old and exhausted bulls. On the harem ground, called rookery, assemble active aged bulls (harem bull) and reproductive cows accompanied with black pups. A bachelor ground, neighboring to the rookery, is occupied mostly by the immature or younger males. Old and exhausted bulls form their own habitat far away from the rookery. As a result of these segregative distribution on a breeding island, catch composition, even if it is taken at random, does not necessarily represent the real composition of a seal herd. It is also possible to assume that some fraction of immature seals not interested in reproduction do not land on the island because seals depend on land only for their reproductive and nursing acts.

Some of bachelors, 41 to 45 inches in length, are subjected to commercial kill on land. This group comprises mostly three and four years old male but hardly includes yearling or two years old seals. The proportion of four-year olds in the catch decreases as the killing season advances during July and August, while that of three-year olds increases. This suggests that some of the younger seals land on the island later, while others possibly do not at all. This suggestion may be supported by findings that many yearling and two-year olds are observed in the north-

* Received March 28, 1960. Contribution A No. 132 from the Tokai Regional Fisheries Research Laboratory.

ern part of the Pacific during the breeding season. Also no evidence has been obtained to prove that all of three and four years old males land for the season. Estimations by Kenyon *et al.* (1954) for the magnitude of three and four year old males escaping from regular commercial kill stand on the assumption that all of these year class males land on the island. This point, however, should be checked by some biological procedures.

Examining the age-composition of the female killed on the Pribilof in 1956 and 1957, the following points are to be noticed. In the 1957 female catch from the harem ground drive on St. Paul Island, six-year old seal is dominant until around 20 July, while five-year class takes place of dominance later on. The over-all age composition from 27 June to 20 August is overwhelmingly dominated by five-year class. On the other hand, 4 years old seal increases with the progress of the season and is predominant, according to the 1956 catch, in September. It may be concluded, therefore, that, as in the case of male, the younger the later they land, and that a certain fraction younger than three years old may not land on the island.

On sea

As very complicated segregative distribution is observed in the pelagic life of fur-seals, the composition of the pelagic kill does not necessarily represent the real composition of seal herd. These segregative habits both on land and on sea make fur-seal population study rather difficult.

Pelagic catch of seal may be considered to be non-selective except a tendency that an effort for chasing and catching older males is time-consuming and needs a feat, if not altogether impossible. Age and sex composition data referred herein are from reports as given below:

Off Japan: 1950 (Wilke, 1951), 1952 (Joint report, 1954), 1953 (Fisheries Agency, 1953), 1958, 59 (Tokai Regional Fisheries Research Lab., 1959, 1959).

In the North Pacific: 1959 (Tokai Regional Fish. Res. Lab., 1959).

Off Alaska: 1952 (Joint report, 1954), 1958 (U. S. Fish & Wildlife Service, 1958).

Off British Columbia: 1958 (U. S. Fish & Wildlife Service, 1958).

Off Oregon-Washington: 1952 (Joint report, 1954), 1958 (U. S. Fish & Wildlife Service, 1958).

Off California: 1958 (U. S. Fish & Wildlife Service, 1958).

Sealing seasons when those samples were collected were January-July off Japan, July-August in the North Pacific, February-July off Alaska, February-July off British Columbia, April off Oregon-Washington and February-April off California. Sex and age composition, in term of percentage, of the over-all samples collected so far by area are given in Tables 1 to 5. Though segregative distribution of this animal presented in the tables is very complicated, the following points may be noticed.

Table 1. Age composition of the catch off Japan

Age	1952		1958		1959		Total		Total
	Male	Female	Male	Female	Male	Female	Male	Female	
1	3.7	1.0	2.0	0.9	4.0	2.1	3.2	1.4	4.6
2	16.0	9.7	15.3	7.6	13.2	9.3	13.6	8.8	22.4
3	12.3	12.4	22.2	17.1	11.7	13.7	15.8	14.6	30.4
4	5.0	10.8	4.6	8.7	10.1	11.0	6.6	10.1	16.7
5	1.5	7.5	1.4	7.1	2.0	6.6	1.6	8.3	9.9
6	0.2	4.1	0.7	3.7	0.6	4.4	0.5	4.1	4.6
7	0.1	3.2	0.5	2.0	0.3	2.6	0.3	2.5	2.8
8	0.1	2.3	0	1.2	0	1.6	0.1	1.7	1.8
9	0	2.1	0	1.0	0	1.0	0	1.3	1.3
10	0	2.7	0	0.6	0	0.7	0	1.2	1.2
10+	0.1	4.4	0	3.4	0	4.8	0	4.2	4.2
Total	39.0	60.2	46.7	53.3	41.9	57.8	41.7	58.2	99.9
Number of Sample	2,329		2,982		2,806				
Period	Feb.-June		Feb.-June		Feb.-July				

Table 2. Age composition of the catch off Alaska

Age	1952		1958		Total	
	Male	Female	Male	Female	Male	Female
1	0	0	2.4	1.6	1.7	1.2
2	6.7	1.8	0.1	0.1	2.2	0.7
3	20.6	5.2	6.3	1.1	11.3	2.5
4	4.9	14.2	2.3	1.8	3.2	5.9
5	0.5	3.4	0.2	2.9	0.3	3.2
6	0.3	8.2	0.7	5.5	0.6	6.7
7	0	4.9	2.0	5.5	1.5	5.8
8	0	6.4	1.6	6.4	1.2	6.8
9	0	3.1	0.8	4.3	0.6	3.7
10	0	4.6	0.3	5.8	0.3	4.5
10+	0	15.2	0.6	47.8	0.4	35.7
Total	33.0	67.0	17.3	82.8	23.3	76.7
Number of Sample	388		889			
Period	June-July		Feb.-July			

Table 3. Off the Oregon-Washington Coast

Age	1952		1958		Total	
	Male	Female	Male	Female	Male	Female
1	3.0	4.0	5.1	11.8	4.2	8.5
2	0	2.0	0.7	0.7	0.4	1.3
3	1.0	4.0	0.7	8.8	0.9	6.8
4	0	15.2	1.4	5.9	0.9	9.7
5	0	4.0	0	4.4	0	4.2
6	0	7.1	0	7.4	0	7.2
7	0	6.1	0	8.1	0	7.2
8	0	11.1	0	5.1	0	7.7
9	0	7.1	0	11.1	0	9.4
10	0	6.1	0	5.1	0	5.5
10+	0	29.3	0	23.5	0	26.0
Total	4.0	96.0	7.9	91.9	6.4	93.5
Number of Sample	99		136			
Period	April		April			

Table 4. Off the California Coast

Age	1952		1958		Total	
	Male	Female	Male	Female	Male	Female
1	2.0	0	0	0	0.6	0
2	0	0.5	0	0.4	0	0.5
3	0	3.0	0	3.7	0	3.5
4	0	5.0	0	3.9	0	4.3
5	0	5.5	0	8.3	0	7.5
6	0	5.0	0	8.7	0	7.7
7	0	7.0	0	9.3	0	8.6
8	0	9.6	0	8.3	0	8.6
9	0	8.1	0	6.1	0	6.7
10	0	3.5	0	8.5	0	7.0
10+	0	49.8	0	42.8	0	45.1
Total	2.0	97.0	0	100.0	0.6	99.4
Number of Sample	199		460			
Period	Feb.-Apr.		Feb.-Apr.			

Table 5. Off British Columbia

Age	1958	
	Male	Female
1	13.7	24.6
2	2.5	5.1
3	1.6	7.4
4	0.6	6.3
5	0.4	5.5
6	0	4.5
7	0	5.0
8	0	3.3
9	0	3.3
10	0	1.4
10+	0	15.0
Total	18.8	81.2
Number of Sample	488	
Period	Feb.-July	

1. Male seals hardly occur in the waters off Washington, Oregon, or California. The majority of catch comprises older females. Frequency of male occurrence is apparently getting higher in conformity with latitude, as 0.6 per cent off California, 6.4 off Oregon-Washington, 18.8 off British Columbia, and 23.3 off Alaska.
2. Female age composition of the catch off the American Mainland indicates that frequency of younger female is significantly lower than that of older one. This suggests that younger female seldom migrates down south to reach as far as British Columbia or Washington. Therefore, the mortality rate calculated from female age composition of the catch taken there may not be fully reliable.
3. Except the water off British Columbia and in the North Pacific, yearling seal, the most abundant age class, is hardly taken. This tendency, together with findings from tag-recovery results that no yearling seal of the Pribilof origin migrates to the waters off Japan, suggests that distribution ranges of yearling and two years old groups are rather limited to the northern waters. Considering that these younger seals are vulnerable to changes in environmental factors with a grave mortality, it may easily be perceived that they have a different habitat from that of older groups.
4. In the male age composition, the catches off Japan and Alaska are very similar and dominated by two or three years old groups. In case of female, three years old is predominant in both samples. One of characteristics of the male age composition is an extremely low frequency of older males.
5. According to the samples obtained in the North Pacific, seals occurring in summer time may be mostly yearling or two years old which probably not land on the breeding island, although accurate sex-ratio has not been known yet.

Intermingling between the Pribilof and the Soviet origins in the waters off Japan

One of the major objectives of fur-seal tagging experiment is to estimate the intermingling pattern between the origins from the Pribilof and the Soviet breeding

islands occurring in the waters off Japan. As has been already pointed out, segregation by age and sex is apparent in fur-seal distribution at sea. Rate of intermixture, therefore, should be estimated by age and sex group separately. Despite that an extensive tagging liberation has been carried out on the Pribilof Islands since 1947, the number of tags recovered off Japan, when broken down into each age and sex group, is not large enough to figure out an accurate intermingling pattern because of a limited amount of samples made available so far. A general pattern, however, is suggested by series of tag-recovery data collected so far. Data used herein are those compiled through pelagic surveys in the waters off Japan since 1952. Extensive researches there have been so far carried out in 1952, 1958 and 1959. The number of recovered tags together with the corresponding catch by age and sex are given in Table 6. Most of the recovered tags are of the Pribilof origin. But quite a number of Soviet tags were collected from yearling group killed in 1959, as an extensive tagging had been started on the Soviet breeding islands since 1958. Except for yearling group, therefore, ratio of intermixture is estimated only from tag recovery of the Pribilof origin.

Table 6. Number of recovered tags and the corresponding catch by age and sex

Age	1952		1958		1959	
	Male	Female	Male	Female	Male	Female
1	87	23	63	30	113 (**21**)	59 (**9**)
2	373	226	487 (4)	236 (1)	370 (**8**) (3)	262
3	286 (5)	289 (1)	711 (29)	547 (8)	329 (5)	385
4	116 (1)	251 (1)	151 (1)	275	284 (14)	309 (3)
5	35	177 (2)	46	221 (1)	56	184 (1)
6	5	96	22	117 (2)	17	124 (2)
7	2	74	16	60	7	73
8	2	54	1	37	3	45
9	0	48	1	30 (1)	0	29
10	1	61	0	18	0	80
10+	0	102	0	107	0	137

Note—Numeral in parentheses is the number of recovered tags. Underlined numeral is of Soviet tags.

Rate of intermixture is simply estimated from the actual number of recovered tags divided by the expected number of recovery when all of the migrating seals off Japan come from Pribilof Islands. The expected number of recovery may be calculated from the ratio of tagged animals to the total number of pups at the time of tagging or, as an alternative, from the tag recovery rate at the time of kill. Since the tag recovery rate, however, fluctuates largely from one age class to another, as is shown by Nagasaki (1960), the former is considered to be more reliable for the present study.

Since tagging liberation had been carried out only on St. Paul Island from 1947 up to 1955, but both on St. Paul and St. George in 1956 and on, the calculated numbers of pups on St. Paul Island from 1947 to 1955 year class should be divided by 0.83 to magnify to those on all the Pribilofs. Estimated numbers of pups at the time of tagging on the Pribilofs, thus calculated, and numbers of tags applied by series are given in Table 7.

Table 7. Estimated number of pups and the number of tags applied on the Pribilofs

Year	Tag-series	Estimated number of pups at the time of tagging	Number of tags applied
1956	I series	917,000	50,000
1955	H 〃	751,000	50,000
1954	G 〃	700,000	10,000
1953	F 〃	683,000	10,388
1952	E 〃	496,000	19,979
1951	D 〃	517,000	1,000
1949	CS 〃	507,000	19,963
1948	B 〃	475,000	19,532
1947	A 〃	482,000	19,183

Recovery rate on the Pribilofs was adjusted by tag-lost ratio estimated from check-marked seal without bearing tag. Recovery rate at sea used in the present report is not corrected for the tag-lost, because tag-lost ratio observed on land varies largely both by series and age. But it is assumed that the tag-lost ratio up to four years old may be less than 20 per cent at sea. Intermingling ratios calculated and given in Table 8, therefore, must be more or less under-estimated particularly for older ages.

Table 8. Intermingling ratio by age and sex

Age	Sex	1952			1958			1959		
		a	b	c	a	b	c	a	b	c
1	Male	—	0	0	—	0	0	—	0	0
	Female	—	0	0	—	0	0	—	0	0
2	Male	—	—	—	26.5	4	0.15±0.13	—	—	—
	Female	—	—	—	12.8	1	0.08	—	—	—
3	Male	11.2	5	0.446±0.275	47.3	29	0.61±0.14	17.9	5	0.28±0.21
	Female	11.4	1	0.088	36.4	8	0.22±0.13	—	0	0
4	Male	—	—	—	2.1	1	0.47	18.9	14	0.74±0.196
	Female	—	—	—	—	—	—	20.6	3	0.14±0.15
5	Male	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Female	—	—	—	3.3	1	0.30	2.6	1	0.38
6	Male	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Female	—	—	—	4.7	2	0.43	1.8	2	1.00

a: Expected number of tags when all seals of given age and sex come from Pribilofs.
b: Number of tags recovered.
c: Intermingling ratio.

Intermingling in yearling group:

Yearlings both of male and female occur at a low frequency in the catch off Japan. No Pribilof tag was recovered from yearling group throughout 1952, 58 and 59 samples, but quite a number of Soviet tags was collected from this age class

in 1959. Since no details are available from the tagging list on the Soviet breeding islands yet at this moment, tags recovered can not be identified as to their respective origin, the Commander or the Robben. As it is reported that 23 and 25 per cent of all pups on the Commander and Robben Islands, respectively, were tagged in 1958, recovery rate in 1959—21 tags out of 113 male seals and 9 out of 59 female seals—is not significantly different from the expected rate of recovery when all yearling seals off Japan come from Robben Island where tagging rate was slightly higher than on Commander (χ^2 value is 2.17 in male and 2.52 in female). This comes to the conclusion that the yearling group both of male and female migrating off Japan are of the Soviet breeding islands origin, although the rate from Commander or Robben has not been known yet.

In the 1959 pelagic survey, Soviet scientists collected 15 tags of which 7 were of B series tagged by U.S.S.R. They reported that all of those seven tags were from Robben Island. It is quite probable, therefore, that the majority of yearlings off Japan comes from Robben Island.

Intermingling in two year group:

The number of tags recovered from two year olds is rather few in spite of a large number of samples collected so far. Since no tagging was done on the Pribilofs in 1950, no tag recovery is expected in two year class in 1952. The intermingling ratio in two year olds in 1958 is 17 per cent in male and 8 in female. Considering that seals off Japan involve no Pribilof origin in yearling stage but quite a number of three year olds Pribilof seals as mentioned below, some of the Pribilof seals may begin to migrate to the waters off Japan when they have grown two years old. An exact intermingling pattern in two year group would be figured out sometime after 1960 when extensively applied Soviet tags appear in two year old animals.

Intermingling in three year group:

Calculated ratio of the Pribilof seals to those migrating off Japan in three year class is given below:

Year	*Male*	*Female*
1952	0.45 ± 0.27	0.09
1958	0.61 ± 0.14	0.22 ± 0.13
1959	0.28 ± 0.21	0

It is clearly noticed that the ratio in male is significantly higher than in female and the ratios in both sexes vary from year to year. As to the year-to-year variation, the ratio observed in 1959 is much lower than that in 1958. Poor survival of the 1956 class on the Pribilofs indicated by poor return as three year group is in accord with a comparatively low frequency of the three year olds in the catch off Japan in 1959. The poor magnitude of that year class reflects in the intermingling ratio off Japan.

Intermingling of four year group:

Tag recovery rate in the four year group in 1959 is very high with the intermingling ratio amounting to 74 per cent in male and 14 per cent in female. This high rate is certainly related to a higher rate of recovery in the three year group in 1958.

Intermingling of over five year group:

In the case of male, no tag has been collected so far from five year group and older probably because the sample size of these year classes is not large enough. In case of female, a few tags have been recovered. However, the calculated intermingling ratio is fairly high, 30 per cent in five years old and 43 in six year olds group in 1958, and 38 in five year olds and 100 in six year olds in 1959. It is suggested, therefore, that in case of female, the intermingling ratio is getting higher with the progress of age. Considering that the pelagic catch off California and Oregon is predominantly occupied by older females, it is assumed that migration range of aged female seals is wider than that of younger one.

Conclusion:

It would be concluded that almost all of the yearling seals migrating off Japan originate from the Soviet breeding islands. Seeing that the intermingling ratio of the Pribilof origin in two year group off Japan is not high and that the frequency of yearling in the catch off Japan is much lower than that of two years old group, the yearling seals migrating off Japan are only a part of those born on the Soviet islands. The majority of Soviet origin yearlings may winter in some northern area not covered by Japanese survey teams.

It is noticed that the intermingling ratio is getting higher as age progresses both in male and in female. Up to four year olds over which intermingling ratio in male is not figured out, the ratio is significantly higher in male than in female.

References

1. Abegglen, C. E., A. Y. Roppel and F. Wilke 1957. Alaska fur seal investigations, Pribilof Islands, Alaska. Manuscript report of field activities.
2. Abegglen, C. E., A. Y. Roppel and F. Wilke 1958. Alaskan fur seal investigations, Pribilof Islands, Alaska. Manuscript report of field activities.
3. Fisheries Agency. 1953. Fur seal investigation off Japan in 1953.
4. Kenyon, K. W., V. B. Scheffer and D. G. Chapman 1954. A population study of the Alaskan fur seal herd. U. S. Fish and Wildlife Serv. Sp. Sci. Rp. Wildlife, No. 12.
5. Nagasaki, F. Estimation of pups abundance on the Pribilofs by tag-recovery results. Unpublished.
6. Taylor, F.H.C., M. Fujinaga, and F. Wilke 1954. Distribution and food habits of the fur seals of the Northern Pacific Ocean.
7. Tokai Regional Fish. Res. Lab. 1959. Report of Japanese fur seal research in 1958. Tokai Reg. Fish. Res. Lab. Special publication No. 6.
8. Tokai Regional Fish. Res. Lab. 1959. Report of Japanese fur seal research in 1959. Prepared to the third Commission Meeting.

9. Wilke, F. 1951. Pelagic fur seal research off Japan in 1950. Prelim. Study 67, Nat. Res. Sect., GHQ, SCAP, Tokyo, 35 pp., mimeographed.
10. Wilke, F., K. Niggol and C.H. Fiscus 1958. Pelagic fur seal investigations, California, Oregon, Washington and Alaska. U.S. Dep't. Inter. Fish and Wildlife Serv., unpublished report.

北太平洋に於けるオツトセイの分布について

長　崎　福　三

要　　約

オツトセイは夏期蕃殖島の上でも，又海上に於ても，年令，性別にかなり複雑な棲み分けを起している。そのために無作為に捕獲しても，その捕獲群の年令組成は必ずしもストツク全体の組成を表わしてはいない。島上に於ける棲み分けは蕃殖生態と密接な関係がある。海上では先ず当才群が余り南下しないことが認められる。最も南方に廻游するのは高年の雌獣が多い。太平洋のアメリカ側では雄の出現濃度が著しく低いが，日本沖では若年級（主として当才獣）を除いては，各年令及び性のものが出現している。

日本沖の群はソ連の蕃殖島及びプリビロフ島系のものの混合であるが，標識放流の結果から推定される混合率は年令及び性によつて相当相違している。一般に高年になるに従つてプリビロフ系の割合が高くなる傾向が認められる。

ABUNDANCE OF PUPS ON THE PRIBILOFS ESTIMATED FROM TAG-RECOVERIES*

Fukuzo NAGASAKI

Introduction

For estimating the total abundance of animal, in general, by means of the single census marking experiment one may apply Petersen's method or its modifications such as Bailey's (1951) or Chapman's (1951). As Ricker (1958) pointed out, Petersen's method is properly applicable to certain conditions. In the case of estimating abundance of pups on St. Paul Island, Pribilof, however, simple estimation by Petersen's must involve quite an error, because fur-seals never land on the breeding island at random with regard to rookery when they are subjected to commercial kill after three or four years and because the number of pups tagged by rookery are not proportional to the number of pups born there. As was already pointed out by Nagasaki and Matsumoto (1957), bachelor seals have fairly strong homing tendency to their native rookeries. This tendency is more conspicuous in female than in male. From the theoretical view point, therefore, the stratified method with consideration on immigration and emigration among rookeries, is more appropriate for estimating abundance of pups. The number of pups in a given rookery calculated by this procedure, however, fluctuates largely from year to year. Since the production on a given rookery may be considered to be rather stable and the year-to-year variation small, large variation in the estimated values may be an error caused by an insufficient amount of samples.

Stratified Method

Strictly speaking, the quantitative intermixing pattern between Pribilof and other breeding islands should be taken into account. Leaving these points out of consideration because no reliable data are available for them, the following calculation stands on the premise that all the St. Paul born pups return only to St. Paul but no seal born on other island immigrates there. The St. Paul breeding is classified into five major rookeries: N.E.P., Polovina, Reef, Tolstoi-Lukanin-Kitovi, and Zapadni. When tagging liberation and tag-recovery are carried out on each of the five rookeries, the following equation is proposed:

$$N_i = \sum_{j=1}^{5} \frac{S_{ij}}{t_j} N_j$$

where

* Received March 28, 1960. Contribution A No. 133 from the Tokai Regional Fisheries Research Laboratory.

N_i is the number of the kill on rookery i,

S_{ij} is the number of tags that had been applied on rookery j, and were recovered on rookery i,

N_j is the number of pups on rookery j at the time of tagging,

t_j is the number of pups tagged on rookery j which originally had a population N_j.

Putting N_i, S_{ij} and t_j, which are all known values, into the simultaneous equations, N_j is obtained. The tagging liberation on each of five rookeries on St. Paul Island was carried out in 1947 (A series tag), 1953 and on. Estimated values, thus calculated, should be adjusted for the tag-lost animals.

Since males of the 1947 class were killed, when they were three years old, to recover the tags applied in addition to the regular killing, special correction should be made for pups-estimation. For this correction, a factor figured out by Kenyon et al (1954) is used. The adjusted numbers of pups estimated are given in Table 1. It is noticed that the numbers of the three year classes from 1953 to 1955, estimated on the basis of the tag-recoveries from three year male group are rather in good agreement. But the 1954 class strength based on the three-year male catch is greatly different from that calculated from the four-years old catch. In case of the 1955 class, a large difference is observed between the estimations from three-years old male and that from three-years old female.

One may also notice that the estimated numbers in a given rookery vary largely from year to year. It is not probable, however, that the annual production of pups on a given rookery varies so greatly in a short period. As the counted number of harem bulls in a rookery is rather constant from year to year in these years, the variation observed in the estimated number of pups may be largely due to sampling error.

As the stratified estimation was made on each rookery, the sample size was getting smaller and the sampling error would be accumulated. A reliable estimation by this procedure would only be obtained from a larger sample than that at the present level.

Table 1. Number of pups on each rookery, estimated by the stratified method (Adjusted).

Year of tagging	Number of pups						Estimated from the kill of
	Zapadni	T.L.K.	Reef	Polovina	N.E.P.	Total	
1950	27,000	79,000	123,000	64,000	100,000	393,000	3 & 4 yrs. males
1953	127,000	135,000	225,000	41,000	185,000	713,000	3 years male
1954	163,000	76,000	193,000	144,000	179,000	755,000	〃
1954	103,000	93,000	102,000	135,000	68,000	501,000	4 years female
1955	206,000	183,000	178,000	113,000	218,000	898,000	3 years female
1955	92,000	114,000	187,000	77,000	147,000	617,000	3 & 4 yrs. males
1956	167,000	−73,000	214,000	142,000	167,000	617,000	3 years male

Because of fairly strong homing tendency of this animal, consideration should be made on each rookery separately in order to study various ecological aspects of seals. For this purpose, production of pups on each rookery should be figured out.

Petersen's Method

Theoretically speaking, as has been mentioned above, the estimation of pups abundance on St. Paul Island could be more accurately calculated by the stratified method than by the Petersen's. When the stratified method is applied, however, a larger sample size may be required to obtain a reliable estimation. In the Petersen's method, on the other hand, over-all samples combining each obtained for several years are available for estimation and the sample size becomes larger. Also when the Petersen's is applied, it is possible to have estimations for a longer period, for instance, from 1947 when the extensive tagging on this island was started. In the present stage, therefore, the estimation by the Petersen's is considered to be more appropriate and convenient.

For the Petersen's type estimation, the Chapman's (1952) is applied in the present report, namely :

$$N=(n+1)\,(t+1)/S+1$$

where

N is the number of pups at the time of tagging on St. Paul,
n is the number of seals killed commercially,
t is the number of pups tagged,
S is the number of tagged seals recovered in commercial kill.

Table 2. Estimation of pups abundance by the Petersen's

Series	Age & Sex	n	t	S_1	S_2	$(n+1)(t+1)/(S_2+1)$
E	5 yrs. f.	9,373	19,979	487	536	349,000
	4 yrs. m.	31,448	〃	1,219	1,425	441,000
	4 yrs. f.	4,795	〃	204	262	364,000
	3 yrs. m.	30,733	〃	1,057	1,197	580,000
F	4 yrs. m.	8,855	10,400	115	129	708,000
	4 yrs. f.	4,551	〃	100	113	415,000
	3 yrs. m.	38,290	〃	582	622	640,000
	3 yrs. f.	1,601	〃	37	41	397,000
G	4 yrs. m.	5,599	10,000	81	94	589,000
	4 yrs. f.	6,736	〃	127	137	492,000
	3 yrs. m.	23,473	〃	315	325	720,000
	3 yrs. f.	953	〃	27	32	289,000
	2 yrs. m.	2,859	〃	41	42	665,000
H	3 yrs. m.	27,863	50,000	1,959	2,188	636,000
	3 yrs. f.	9,762	〃	526	551	812,000
	2 yrs. m.	1,015	〃	122	125	403,000

The size of n was estimated from the age-composition of sample taken from commercial kill. S in the above equation was corrected for the tag-lost. Observed values of n, t, S_1 (the number of tags actually recovered), and S_2 (the corrected value for tag lost) are tabulated in Table 2 together with the calculated value of N.

Referring to the table, quite a variation is observed in several values of N even in a given year class. This is particularly so in G series in which S_2 values are smaller. It has been proposed, therefore, that N should be estimated more accurately from the combined data of several years and both sexes. The estimations, thus obtained, are given below:

Series	Estimated number	In 95 percent confidential limit	
		Upper limit	Lower limit
E	446,000	460,000	432,000
F	613,000	650,000	575,000
G	628,000	674,000	582,000
H	674,000	700,000	651,000

Detailed data on the tag recoveries from A to D series are not available. Particularly, special correction should be made in recovery rates from A and B series because the selective kill was made for tagged animals regardless their size in the 1950 and 1951 seasons. Therefore, the estimations of those year classes are cited from Chapman (1957). The method of calculation made by Chapman is identical to that used herein.

In 1956 and on, tagging liberation has been carried out both on St. Paul and St. George Island. The most recent recovery now available at this moment is that of the 1956 class from the catches in the 1958 and 1959 seasons. Tag recovery and the corresponding catch in these two years are listed below:

Table 3. Tag recovery from the 1956 class

Year of recovery	Rookery of recovery	Rookery of tagging		Tag-lost	Corresponding catch	Age
		St. Paul	St. George			
1959	St. Paul	421	37	61	10,671	3 yrs. male
	St. George	23	54	22	2,251	
1958	St. Paul	83	12	4	875	2 yrs. male
	St. George	15	24	6	171	

In this case, pups abundance both on St. Paul and St. George can be figured out by means of the stratified method. The result of calculation is given below:

	St. Paul	St. George	Total
From the 1959 kill	809,000	241,000	1,050,000
From the composite of the 1959 and 1958 kill	758,000	159,000	917,000

Apart from the estimation of the 1956 class, all the others involve a common error which is derived from the immigrated seals from St. George to St. Paul. A correction factor for this, if the immigration is presumed to be rather constant from year to year, is figured out from the recovery of the 1956 class. By applying the Petersen's method to St. Paul only, as is comparable to the estimation N of other year classes, 820,000 is obtained as the abundance of the 1956 class of pups. Hence, 758,000/820,000 or 0.925 is the correction factor.

The pups production on St. Paul has been estimated as 83 per cent of that on all Pribilof on the basis of comparison of the number of harem bulls counted and of kill in the same season between St. Paul and St. George. This assumption is quite acceptable, because the number of pups on St. Paul calculated from the 1958 and 1959 tag recovery by the use of the stratified method is about 82 per cent of that on all Pribilof. Hence, the total number of pups on Pribilof is given as the number of pups on St. Paul divided by the factor, 0.83.

The final estimations, thus calculated, of the number of pups at the time of tagging on St. Paul and on all Pribilof are as follows:

Table 4. The final estimation of the number of pups at the time of tagging

Year class	Tag series	On St. Paul	On all Pribilof
1956	I	758,000	917,000
1955	H	623,000	751,000
1954	G	581,000	700,000
1953	F	567,000	683,000
1952	E	412,000	496,000
1951	D	429,000	517,000
1949	C S	421,000	507,000
1948	B	394,000	475,000
1947	A	400,000	482,000

Above given are the numbers of pups at the time tagging in each season but not those at the time of birth. Since tagging liberation is carried out for some days over the end of August it is almost two months later than pup's birth when they are subjected to tagging. During these two months period, a considerable number of pups die of hook worm infection and some other causes. The number of pups born, therefore, is the sum of the estimated number from tagging result and the number of dead pups counted on the island. The estimated production thus obtained are:

Year class	On St. Paul	On all Pribilof
1956	862,000	1,037,000
1955	702,000	—
1954	682,000	811,000
1953	650,000	775,000
1951	503,000	—

Consideration

If the sesults of tagging experiments are fully dependable, it is apparently noticed that annual pup-production on the Pribilofs has been increasing for these years particularly since 1953. The rate of annual increase from 1951 to 1956 approximately range from 0.10 to 0.20. In 1914—1922, however, when the fur seal abundance on the Pribilofs was at a lower level, the observed annual increasing rate in pups production was about 0.08.

It is impossible to expect such a sharp increase as this from a probable life table of fur seal herd. Therefore, the point should be studied further in detail from various aspects of fur-seal biology.

References

Bailey, N. J. J. 1951: An estimating the size of mobile populations from recapture data. Biometrika, 38: 293–306.

Chapman, D. G. 1951: Some properties of the hypergeometric distribution with applications to zoological sample censuses. Univ. California Publ. Statistics, 1: 131–160.

Ricker, W. E. 1958: Handbook of computations for biological statistics of fish populations. Fish Res. Bd. Canada, Bull., No. 119.

Nagasaki, F. and Matsumoto, K. 1957: Homing tendency of the bachelor seals to their native rookeries. Bull. of Tokai Reg. Fish. Res. Lab., No. 18.

Kenyon, K. W., V. B. Scheffer and D. G. Chapman 1954: A population study of the Alaska fur seal herd. U.S Fish and Wild. Serv. Sp. Sci. Rp. Wildlife, No. 12.

Chapman, D. G. 1957: Population estimates of Pribilof fur seal pups. Manuscript.

標識放流結果から得られたプリブロフ島に於ける仔獣生産数の推定

長崎　福三

要　　約

1947年以降行はれている，かなり大規模な標識放流の回収結果から，プリビロフ島での年々の仔獣生産数を推定した。オツトセイは生れたルツケリーに対する回帰傾向がかなり強いので，理論的にはピーターソンの方法による推定より，ルツケリー別に層分けした推定法の方が正確である筈である。しかし計算の結果によると後者によつて得られた値は，かなり大きく変動し，現在の段階では信頼度は低いと考えられる。これは恐らく標本数の不足によつて起る標本誤差が大きいためと考えられる。従つて総てのルツケリーを込みにして，ピーターソンの方法によつて得られた値を更に正確なものであると考える。この結果によると 1950年，特に '53年以降生産仔獣数は急激な増加を示している。この急激な増加の原因は未だ説明出来ないばかりでなく，最近の高い増加割合は，従来考えられていたオツトセイに関する知識によつて想定される life-table からは期待することができない。

魚類体中のビタミンAの消長に関する研究–IV*
ウナギのビタミンAおよび脂質

東　秀雄・平尾秀一・山田充阿弥・菊地　嶺
野口　博**

緒　言

ウナギは美味と栄養に富み，特に夏やせ，烏目などに有効な食品であることはすでに奈良時代から知られ，ビタミンAの発見以後は藤巻ら[1]によつてウナギにAが豊富であることが明らかになつた。魚肉に関する著者らの実験によれば，ヤツメウナギ[2]，カエルザメ[3]のごとく，ウナギよりもAの濃厚な魚種もあるが，一般的な食用魚肉としてはウナギは最もAに富むもの[4]と云えよう。

しかし以上の報告のほかにはウナギのAについての研究ははなはだ少なく，ことに年令や環境などとの関連を検討した例はほとんどないようである。またウナギは養殖もの，天然ものそれぞれについて，産地，魚体の大きさ，時季などにより商取引上の等級づけが行なわれ，またいわゆるウナギ通の人々が品質についていろいろの意見をのべているが[5][6]，これらの事柄と成分との関係についても検討した例はないようである。

一般に魚類のA含量は魚種によつてはもとより，同種の魚においても年令，漁場などによつていちじるしく相異するが，これらの差異を生ずる生化学的要因については不明の点が非常に多い。著者らはこれらの一端を明らかにする目的をもつて，ウナギをモデルとして取上げることとした。またこの種の実験からウナギの品質や養殖法の改良にも参考となる資料がえられると考えた。前報[7]においてはウナギにAを投与して蓄積を検したが，本報においては養殖および天然のウナギの多数の試料についてAと脂質を測定して得た知見をのべる。

実験材料

ウナギは静岡県水試浜名湖分場で飼育したものを用い，また栃木県水産指導所，浜名湖養魚漁業協同組合，浜名湖食品株式会社，榛原養殖漁業協同組合，東京の生産問屋三和，中市，その他の好意により提供されたものを試料とした。Aの定量方法は既報の通りである。

結　果

1) 養殖ウナギの A 含量

ウナギの養殖においては，早春の候沿岸地方に集まつた稚魚を採捕して養魚池に入れ，餌付をして育てる。餌料はイワシ，アサリなどをすりみにして与え，大きくなつてからはイワシ，ホツケなどを針金でつるして与えるのが普通である。ウナギは餌料にむらがつて骨だけ残して他を全部くい尽す。眼球と内臓とを優先的に喰う傾向があるようである。生長は水温の高い季節に盛んで，11月中下旬になると水温低下のため餌をたべなくなり，翌年4月ごろまでは冬眠状態になるのが普通である。

まず生長に伴うA含量の変化をみるために，1951年5月より浜名湖分場に飼われたウナギを材料として，稚魚から満1年間，同じ魚群から随時試料をとりだし，Aを測定した結果は Table. 1. の通りである。餌料は主にイワシとホツケで，一部サンマも用いた。表中試料 No. 1′ はこの翌年入手した稚魚の測定値を比較のため挿入したものであるが，前年の試料とほぼ等しい値をボしている。試料 No. 1～4 は全魚体のまま

* 1960年3月11日受理，東海区水産研究所業績A第131号。
** 静岡県水産試験場浜名湖分場。

第 1 表 同じ魚群につきシラス時代から満一年，A 含量を測定したもの

Table 1. Vitamin A contents in the eel determined at various stages from the larva through one-year-old.

Sample number	全長 Total length	体長 Body length	体重 Body weight	肉（皮共）Flesh with skin 含油量 Oil content	油中A V.A in oil	100g中A V.A per 100g of flesh	肝臓 Liver 重量 Weight	含油量 Oil content	油中A V.A in oil	組織 g中A V.A per g of tissue	備考 Date of catch
	cm	cm	g	%	IU/g	IU	g	%	IU/g	IU	
1	—	—	0.2055	2.5	18.1	41*					1951, 5, 8
1′	6.15	—	0.197	1.97	18.7	37*					1952, 4, 1
2	11.0	—	2.0	5.047	39.0	197*					1951, 6, 15
3	14～20 (平均 17)	—	3.0～9.7 (平均 5.0)	6.76	56.4	381*					〃 7, 16
4	22.6～31.7 (10尾)	22.4～31.2	15.5～40.0	9.84	116	1110*					〃 9, 9
5	33.0	32.9	61.0				1.3				
6	35.3	34.7	69.5				1.5				
7	35.4	34.5	69.5	17.0	45.6	775	1.4	4.05	2490	101	〃 10, 12
8	36.0	35.6	70.0				1.4				
9	37.6	37.0	79.5				1.4				
10	33.7	33.2	50.0				1.4				
11	34.8	34.3	63.6				0.7				
12	34.0	33.4	67.0	13.9	42.6	595	1.2	4.23	2590	109	〃 〃
13	36.4	36.0	68.7				1.0				
14	35.8	35.1	71.5				0.2				
15	38.2	37.9	78.0				2.3				
16	38.1	37.7	81.0				2.4				
17	38.5	38.2	81.0	16.54	33.6	556	2.2	3.56	2100	75	〃 11, 19
18	38.0	37.6	86.0				2.0				
19	37.4	37.1	98.0				2.2				
20	38.5	38.2	88.0				3.0				
21	38.6	38.1	96.0				3.1				
22	39.4	39.1	113.0	17.36	27.0	470	2.9	3.62	1100	40	〃 〃
23	38.8	38.4	114.0				3.7				
24	39.2	38.8	125.0				3.5				
25	38.5	38.2	79.0	14.05	15.9	224	1.9	1.89	1150	22	1952, 2, 5
26	38.4	37.6	81.0	13.74	23.0	316	2.3	1.04	2350	24	〃 〃
27	38.5	38.1	81.0	9.40	26.2	246	1.6	1.56	4840	75	〃 〃
28	39.8	39.4	83.0	17.46	34.0	594	2.1	1.86	1910	36	〃 〃
29	40.5	40.0	102.0	15.77	54.3	856	2.5	1.78	4000	71	〃 〃
30	29.6	29.1	38.0	10.0	217.0	2170	0.8	1.20	55500	666	〃 4, 1
31	32.8	32.4	57.0	15.1	53.8	815	1.0	1.50	12100	172	〃 〃
32	35.8	35.3	60.0	11.3	93.6	1060	1.2	1.60	3800	61	〃 〃
33	38.2	37.5	85.0	16.3	87.6	1430	1.5	2.3	3500	81	〃 〃
34	41.7	41.1	90.0	13.0	37.0	481	1.1	2.0	2000	40	〃 〃
35	40.4	40.0	92.0	15.4	111.0	1710	1.4	2.6	9550	248	〃 〃
36	39.3	38.6	100.0	13.7	63.0	865	1.9	2.9	1280	37	〃 〃
37	39.5	39.0	104.0	19.8	40.2	790	1.8	1.4	6000	84	〃 〃

* 全魚体につき測定 Determined for the whole body.

第 2 表　同じ池に育ち，体重の異なるウナギにおける A 含量の比較

Table 2. Comparison of vitamin A content in various sizes of the eel, cultured in the same pond.

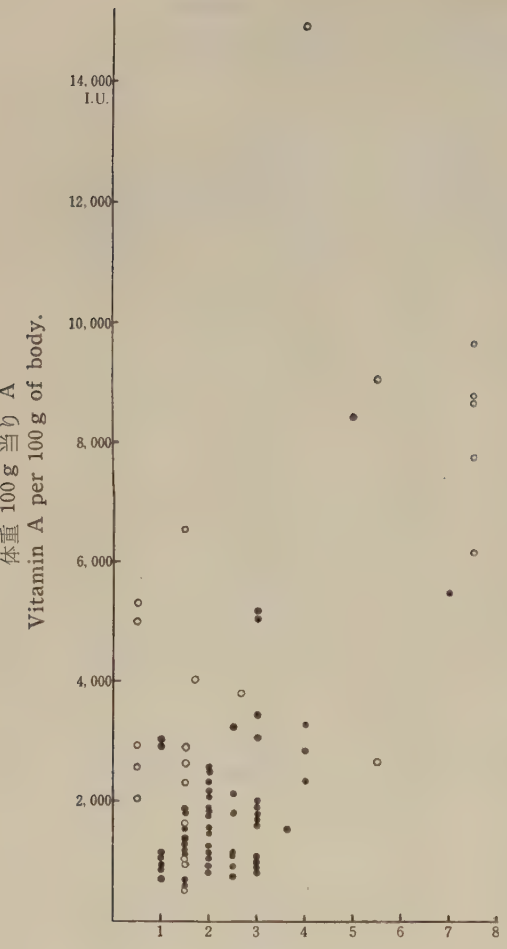
Sample Number	Age	全長 Total length	体長 Body length	体重 Body weight	肉（皮共）Flesh with skin 含油量 Oil content	油中A V.A in oil	100g中A V.A per 100g of flesh	肝臓 Liver 重量 Weight	含油量 Oil content	油中A V.A in oil	組織 g 中A V.A per g of tissue	試料採集日 Date of catch
		cm	cm	g	%	IU/g	IU	g	%	IU/g	IU	
38	2 年生小	35.0	34.5	42	13.8	40.0	556	0.9	6.5	231	15.0	1951. 5. 8
39	〃	32.0	31.5	39	13.4	58.2	770	1.2	5.6	266	14.9	〃
40	〃	31.8	31.4	42	12.6	56.6	713	1.4	6.7	347	23.3	〃
41	〃	—	30.5	39	14.1	54.8	773	1.3	5.9	285	16.8	〃
42	〃	—	31.5	44	14.2	24.4	346	1.0	7.3	362	26.5	〃
43	2 年生大	43.7	42.8	109	15.2	47.6	723	2.95	7.69	190	14.6	〃
44	〃	40.4	39.5	90	15.0	34.1	511	1.5	7.64	141	10.8	〃
45	〃	—	40.5	94	13.0	43.8	570	3.0	4.25	104	4.4	〃
46	〃	—	40.0	97	12.8	40.6	520	2.0	5.68	261	14.8	〃
47	2 年生小	36.7	35.6	84.5	11.95	32.7	391	2.8	2.58	95.8	2.5	1951. 6.15
48	〃	—	—	118	15.3	92.5	1430	1.5	1.74	442	7.7	〃
49	〃	40.8	40.2	100	15.1	25.1	379	2.2	3.20	139	4.45	〃
50	2 年生大	50.2	49.6	227	16.5	33.8	557	4.7	2.20	1750	38.5	〃
51	〃	48.2	47.5	220	11.95	45.6	545	6.1	4.07	3190	130.0	〃
52	〃	45.8	44.7	187	12.3	49.8	613	5.8	2.71	266	7.2	〃
53	2 年生小	32.2		40				0.7				
54	〃	33.8		52				0.8				
55	〃	34.8	32.5	45	11.7	37.45	438	0.7	4.30	3140	138	1951. 7.16
56	〃	34.7	30.9	50				1.0				
57	2 年生大	50.6	50.2	234				3.0				
58	〃	50.7	50.0	210	15.3	46.5	711	3.3	2.28	8800	201	〃
59	〃	47.1	46.4	192				3.5				
60	3 年生	49.7	49.0	214				4.4				
61	〃	48.3	47.5	205	16.9	45.6	772	3.7	2.96	3690	109	1951. 7.16
62	〃	52.3	51.2	228				3.7				

Aを測定したが，No. 5 以下は魚体を肉（皮を含む）と肝臓とに分け，それぞれについてAと脂質を測定した。また No. 25 以後は各個体毎にAを測定した。

表にみるごとく，シラス時代から体重 5g ぐらいまでは生長に伴いA含量は急増し，その後はやや横這い状態となるが，同じ池に飼われた試料においても著しい個体差がある。

No. 15～24 は秋季，給餌停止の直後，No. 25～29 は冬眠状態のため無給餌，No. 30～37 は春，再び給餌をはじめる直前の試料であるが，冬眠により体中のA含量が変化するか否かは，A含量の個体差そのものがはなはだ大きいため，この程度の試料数では明かにしえない。

ウナギは飼育中生長が不揃いになることが多いが，この場合，生長の早いものと遅いものとの間にA含量



第 1 図　ウナギの年令（うろこの 年輪数）と体重 100 g 当りの A 含量との関係

Fig. 1. Relation between the age of eel and the vitamin A content per 100 gram of body.

に違いがあるか否かを検した。即ち浜名湖水試の同じ池に飼われた同年の魚で，大きさのいちじるしく異るものについてAを比較した結果は Table 2 の通りである。No. 38～46 の群においては肉のAには大小による差はみられず，肝臓のAは小さい方がやや濃いようであるが，No. 47～52 の群においてはむしろ大きい方が肝臓のAが濃いようであり，結局これらの試料においてはAの含量は魚体の大きさに無関係であり，生長に遅速のできたのはA以外の原因によるといえよう。なお No. 60～62 は生長の遅れた3年生の試料であるがA含量においては2年生のものと違つたところはないようである。

一般の養殖ウナギのA含量を知る目的で浜名湖地区及び榛原郡川尻地区の業者の生産品につき測定を行なつた結果は Table 3 の通りである。うろこの年輪を数えて大体の年令を推定した。魚体の大きさや年令とA含量との関係は後に天然ウナギのデータとあわせて論ずることにする。

2) 天然ウナギの A 含量

各地の天然ウナギについて測定を行なつた結果を Table 4 に示す。試料は浜名湖，千葉県，群馬県，岡山県，愛知県，石川県のものである。いわゆる天然ウナギの中には養魚池から逃げ出して附近の川や海で再び捕えられたものもあるから，本試料の中にも多少そういうものが含まれているかもしれない。しかし養殖のものに比し，一般にA含量が高く，また肉の含油量は個体によりいちじるしく高いもの，低いもの等，変化が多い。

試料 No. N 1～N 4 は業者の経験的判定により，品質中等とみられるものと上等とみられるものとの中から体重のほぼ等しいものを2尾ずつとり出して測定したものであるが，中等と称せられるものはたまたまA含量が低く出た。しかしこれが他の場合にも当てはまるかどうかは本実験の範囲では断定できない。No. N-5 は「カエリ」と称せられるもの，即ち体側に婚姻色をあらわしてきたもので試料は1尾のみであつたが，肉のAは著者の経験した範囲では最高の値を示した。

No. N-7～11 は群馬県高尾股川の渓流に産したもので，概して肉に油が少く，食味は淡白であつたが，A含量は他の天然ウナギと特に異るところはなかつた。

No. N-24～26 は赤ひれ病の著しい個体であるが，A含量には著しい変化はないとみられる。No. N-34～38 は千葉産の 3～10 g のいわゆるメソツ子であるが，養殖の同大のものと比べてはるかにA含量が高い。前報[7]の実験結果とあわせて，天然のものはかなりA濃度の高いものを捕食していることが想像される。

第3表 生産業者のウナギのA含量

Table 3. Vitamin A in the eel samples from commercial farms.

Sample Number	全長 Total length	体長 Body length	体重 Body weight	年輪数 Nnmbers of scale rings	肉（皮共）Flesh with skin 含油量 Oil content	油中A V.A in oil	100g中A V.A per 100g of flesh	肝臓 Liver 重量 Weight	含油量 Oil content	油中A V.A in oil	組織g中A V.A per g of tissue	備考 Locality and date of catch
	cm	cm	g		%	IU/g	IU	g	%	IU/g	IU	
83	62.0	61.5	430	6～7	15.55	322	5010	5.5	2.46	46400	1140	浜名湖地区 '51, 4, 17
84	62.0	—	410	3～4	12.08	192	2460	6.0	3.21	14850	477	〃 〃
85	—	79.0	980	6～7	22.6	336	7600	18.0	4.30	694	29.8	〃 5, 8
86	63.5	61.5	575	4～5	17.8	254	4500	14.5	9.3	616	57.3	〃 〃
87	52.8	51.6	265	4	15.4	362	5580	4.0	15.9	—	—	〃 〃
88	58.6	57.7	434	—	14.0	202	2830	12.6	2.34	22700	531	〃 6, 15
89	59.5	58.5	370	—	18.35	172	3170	7.2	2.94	9240	270	
90	70.0	68.2	627	3～4	22.43	129	2900	7.7	3.81	292	11.1	'52, 2, 5
91	67.5	66.8	566	3	21.23	226	4810	9.1	3.03	332	10.1	〃 〃
92	64.7	64.2	523	4～5	22.22	360	8000	10.1	2.05	830	17.0	〃 〃
93	57.2	56.4	305	2～3	15.38	41.5	680	4.3	4.00	133	5.3	〃 〃
94	53.0	52.2	286	2	16.64	115	1925	3.4	4.15	378	15.7	〃 〃
95	52.8	52.1	248	2	17.58	96	1690	3.1	3.26	258	26.0	〃 〃
96	47.5	46.5	175	3	13.19	45	594	3.2	2.23	1930	43.1	〃 〃
97	48.5	47.7	220	2～3	19.87	132	2620	4.4	12.60	764	96.2	〃 〃
98	46.2	45.4	140	1	18.64	140	2610	2.4	2.54	222	5.6	〃 〃
99	60.5	59.7	370	3～4	19.4	159.2	3080	3.7	12.0	8200	—	〃 4, 1
100	59.0	58.5	400	3	27.4	48.5	1330	7.4	2.5	2070	51.8	〃 〃
101	58.5	58.0	360	5	21.5	43.7	940	4.1	2.2	1400	30.0	〃 〃
102	57.2	56.5	326	2	22.5	51.4	1152	2.8	2.4	5280	126.7	〃 〃
103	54.0	53.2	288	3	21.6	216.0	4670	2.7	3.1	3100	96.2	〃 〃
104	49.5	48.7	292	3～4	15.0	131.5	1970	2.4	4.2	3320	139.5	〃 〃
105	41.8	41.1	118	3	19.5	83.0	1620	2.6	2.3	1600	36.8	〃 〃
106	40.8	40.1	115	2～3	15.9	81.0	1290	1.9	2.8	12000	336	〃 〃
107	40.4	39.7	110	1	23.0	114.6	2620	2.9	2.2	21600	476	〃 〃
108	49.6	48.7	194	—	21.75	50.7	1100	2.4	2.68	940	25	榛原地区 '53, 3, 20
109	48.4	47.5	195	—	19.68	48.3	950	2.8	2.22	935	21	〃 〃
110	45.6	45.0	159	—	15.10	93.6	1415	2.0	1.27	5280	67	〃 〃
111	40.0	39.6	99	—	16.63	45.4	756	1.7	1.61	1900	31	〃 〃
112	41.1	39.7	94	—	15.32	107.0	1640	1.5	2.38	7030	167	〃 〃

第4表 天然ウナギのA含量

Table 4. Vitamin A content of wild-grown eel.

Sample Number	全長 Total length	体長 Body length	体重 Body weight	年輪数 Number of scale rings	肉（皮共）flesh with skin 含油量 Oil content	肉 油中A V.A in oil	肉 組織100g中A V.A per 100g of flesh	肝臓 Liver 重量 Weight	肝 含油量 Oil content	肝 油中A V.A in oil	肝 組織g中A V.A per g of tissue	備考 Locality and date of catch
	cm	cm	g		%	IU/g	IU	g	%	IU/g	IU	浜名湖 Lake Hamana
N 1	44.0	—	97	2	12.75	53	677	1.0	0.96	224000	2150	中等品 1951, 8, 12
N 2	40.0	—	80	2	4.10	53	215	0.65	8.05	9300	749	〃 〃
N 3	41.5	41.0	96	2	10.36	369	3830	0.9	4.14	13800	572	上等品 〃
N 4	38.6	38.0	92	3	11.0	331	3650	1.4	7.15	4220	302	〃 〃
N 5	44.7	44.2	134	4	12.35	1045	12880	1.15	4.7	45600	2140	カエリ 〃
N 6	74.0	73.4	834	5～6	16.2	548	8870	8.70	5.7	2090	119	〃 〃
												群馬県黒磯 Kuroiso, Gumma Pref.
N 7	22.0	—	12	—	3.84	284	740	0.2	—	—	137	1952, 6, 15
N 8	26.5	—	24.5	—	6.02	180	1080	0.4	—	—	198	〃 〃
N 9	34.5	—	34	—	3.05	1210	3700	0.9	—	—	91	〃 〃
N10	34.3	—	60	—	7.95	212	1685	1.1	—	—	40	〃 〃
N11	39.0	—	88	—	15.20	224	3380	1.6	—	—	30	〃 〃
												浜名湖 Lake Hamana
N12	22.2	22.0	13	1～2	—	—	1255	0.13	—	—	2800	1952, 7, 15
N13	23.1	22.9	15	2	—	—	709	0.08	—	—	2415	〃 〃
N14	24.6	24.4	20	1	5.0	442	2210	0.24	—	—	3010	〃 〃
N15	27.8	27.5	27	1	13.4	344	4610	0.37	—	—	—	〃 〃
N16	30.6	30.4	40	2	7.4	342	2530	0.46	—	—	1900	〃 〃
N17	32.0	31.8	43	1	29.6	59	1735	0.76	—	—	1438	〃 〃
N18	38.8	38.5	75	2	22.4	276	6180	0.93	—	—	2605	〃 〃
N19	40.9	39.8	82	2	8.2	278	2280	1.35	—	—	—	〃 〃
N20	41.2	39.9	83	1	4.9	530	2590	1.14	—	—	2770	〃 〃
N21	45.6	45.3	143	1	13.6	364	4960	2.09	—	—	2950	〃 〃
N22	46.7	46.5	156	2	—	—	1935	2.73	—	—	1810	〃 〃
N23	52.7	52.5	246	4～5	15.5	147	2280	3.38	—	—	—	〃 〃
												浜名湖病気ウナギ Lake Hamana
N24	46.5	46.0	180	—	16.2	497	8060	2.1	3.52	59000	2080	1952, 8
N25	51.0	49.2	200	—	14.1	250	3530	1.7	2.35	38000	895	〃 〃
N26	63.2	62.0	430	—	18.0	207	3730	3.7	2.78	16000	445	〃 〃
												名古屋 Nagoya
N27	41.5	40.2	100.5	2～3	15.8	447	7070	2.05	2.06	18900	389	1953, 3, 20
N28	45.0	44.3	102	3	—	173	—	1.65	2.85	8540	242	〃 〃
N29	44.0	43.0	114	3	14.4	190	2740	1.70	3.30	8500	280	〃 〃
N30	56.0	55.3	270	4	11.45	195	2230	4.60	3.23	13000	421	〃 〃
												岡山 Okayama
N31	41.5	41.3	108	2	—	352	—	1.25	4.05	18900	850	1953, 3, 20
N32	45.6	45.3	125	3～4	4.32	860	3710	2.00	2.66	29200	777	〃 〃
N33	60.1	59.6	332	3	13.18	795	10480	3.85	3.63	51000	1850	〃 〃
												千葉 *全魚体 Chiba. Determined on whole body
N34	14.6	—	3.0	—	8.88*	354*	3140*	—	—	—	—	1953, 3, 20
N35	18.7	—	6.6	—	8.00*	315*	2520*	—	—	—	—	〃 〃
N36	16.7	—	7.0	—	8.97*	390*	3500*	—	—	—	—	〃 〃
N37	19.2	—	8.2	—	3.56*	680*	2420*	—	—	—	—	〃 〃
N38	20.0	—	9.5	—	3.69*	585*	2160*	—	—	—	—	〃 〃
N39	67.4	—	435	—	17.8	269	4790	6.30	3.90	1420	56	金沢 Kanazawa 1953, 5, 16
N40	59.0	—	300	—	17.3	299	5170	—	—	—	—	岡山 Okayama 1953, 5, 16

第5表 下りウナギのA含量

Table 5. Vitamin A content of mature eel.

Sample Number	全長 Total length	体長 Body length	体重 Body weight	年輪数 Number of scale rings	肉（皮共） Flesh with skin			肝臓 Liver	
					含油量 Oil content	油中A V.A in oil	組織100g中A V.A per 100g of tissue	重量 Weight	含油量 Oil content
	cm	cm	g		%	IU/g	IU	g	%
N41	65.8	64.4	437	7～8	15.5	528	8150	6.1	3.95
N42	66.2	64.8	522	〃	16.7	508	8500	7.7	6.40
N43	70.3	69.0	710	〃	16.7	495	8250	10.0	13.90
N44	71.5	70.7	721	〃	16.1	517	8340	10.1	4.04
N45	74.1	73.0	595	〃	16.9	375	6330	8.5	7.10
N46	76.0	75.5	765	5～6	12.47	761	9500	7.45	4.40

Sample Number	肝臓 Liver		卵巣 Ovary				備考
	油中A V.A in oil	組織g中A V.A per g of tissue	重量 Weight	含油量 Oil content	油中A V.A in oil	組織g中A V.A per g of tissue	Locality and date of catch
	IU/g	IU	g	%	IU/g	IU	
N41	53600	2120	14.2	5.0	512	25.60	浜名湖 Lake Hamana 1951, 10, 12
N42	18450	1182	10.2	8.2	614	50.30	〃
N43	4950	689	15.4	14.4	446	64.10	〃
N44	33500	1353	14.5	6.8	400	27.20	〃
N45	9400	668	15.0	10.1	164	16.55	〃
N46	18800	827	18.5	10.2	312	31.80	名古屋，囲いもの Nagoya, kept alive since the previous autumn 1953, 3, 20

3) 下りウナギの A 含量

野生のウナギは淡水生活 7～8 年を経ると，生殖巣が熟し，産卵場をめざして秋季，川を下つてゆく。これを下りウナギと称し，食味が特によいので珍重されている。数尾の試料を入手したのでそのA含量を測定した結果は Table 5 の通りである。肉のA含量はいずれも高く，かつ本試料の範囲では互いにかなり一定した値を示している。ただし肝臓のA含量には個体によりいちじるしい差があつた。卵巣はまだ未熟ではあるが既にかなり発達しており，卵巣の油の A 濃度は肉の それと同程度であるが 肉よりも含油量が少ないので，組織単位重量当りのA含量は 肉よりも やや低い。 No. N-46 は秋の下りウナギを翌春まで活しておいた，いわゆる「囲いもの」であるが，A含量の点ではほぼ他の試料と同じ範囲に入る。

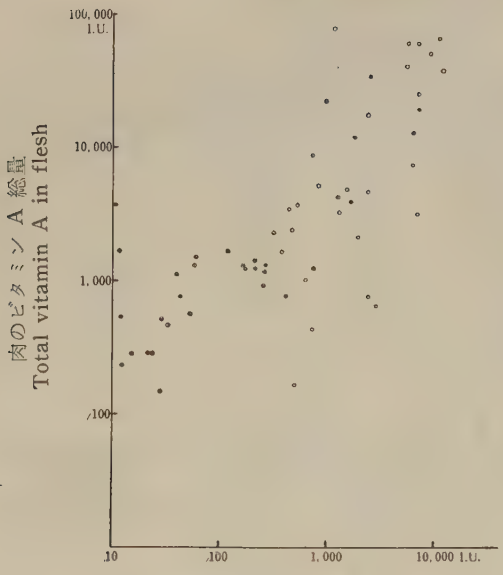
4) A 含量と年令の関係

ウナギはシラス時代以後は冬を越すたびにうろこに年輪が1ケずつできる。この年輪数と，魚体単位重量当りのAとの関係を図示すれば Fig. 1 の通りである。前表までの試料中，肉と肝臓についてのみAを測定してある個体は，この両者の合計を体全体のAとみなして図示した（後にのべるように，この両者のAの合計は体全体のAの 90% 以上を占める）。

図にみるように，養殖天然共，がいして年令の多いものほどA含量が高い傾向がみられる。ただし天然ウナギは養殖ウナギに比し，はなはだバラツキが大きいのは，生活環境がさまざまであることを反映しているのであろう。なお，この図において年輪数の代りに体重を横軸に取つてもほぼ似た図が得られる。

5) A の体中分布

前表までに示した試料のうち，数例について体各部のAを測定した結果は Table 6 の通りである。表中，試料 No. 83 は肝臓のAが肉に比して特に多い個体を抽き出して掲げたものである。この個体においては肝

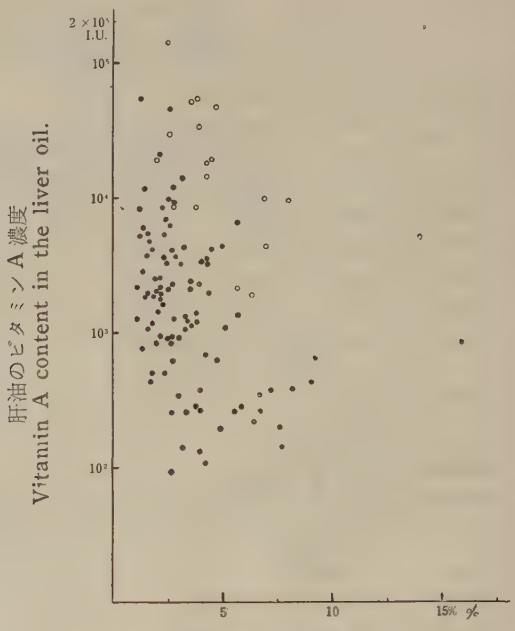


肝臓のビタミンA総量
Total vitamin A in liver.

天然 ○ wild eel. ● 養殖 cultured eel.

第2図　肉のビタミンA総量と肝臓のビタミンA総量との関係

Fig. 2. Relation between total amount of vitamin A in flesh and that in liver



肝臓の含油量
Oil content in liver

天然 ○ wild eel, 養殖 ● cultured eel,

第3図　肝臓の含油量と肝油のビタミンA濃度との関係

Fig. 3. Relation between the oil content of liver and vitamin A content in the oil.

臓のAの量は魚体の総Aの 30% 近くを占めるが，その他の試料では 10% 以下であり，肝臓以外の内臓，即ち消化管，脾臓，腎臓等にはほとんどAは含まれていない。肉のAの総量は魚体の総Aの 70～80% 或はそれ以上を占め，この点は ヤツメウナギ[2] と共にウナギが他の多くの魚種と趣を異にしているところである。頭部は肉よりも組織単位重量当りのAが少く，Aの絶対量も体全体の数%に過ぎない。No. 39, 43 は骨に多少のAが測られているが，これは肉をよく分離しない試料について行つたためで，表に示されたA含量は骨に附着していた肉から由来したものと思われる。卵巣のAは全体の 1 %に満たない。この点はアラブザメ[8]と同様である。

6) 肝臓の A 含量と肉の A 含量との関係

Table 1～5 にみるように，肉の単位重量当りの A 含量と肝臓の単位重量当りの A 含量との間にはほとんど関係がない。しかし肉と肝臓の各々について A の総量を計算し，両者の関係を両対数で図示すると Fig. 2 のようになる。即ちバラツキは甚だ大きいが概して肉の総 A の多いものは肝臓の総 A も多いという傾向がみられる。

7) 肝臓の含油量と肝油の A 濃度との関係

肝臓の含油量と肝油の A 濃度との関係を図示すれば Fig. 3 の通りである。カツオ，マグロ類，メヌケ類スケソウ等においては両者の間に明瞭な相関のあることが知られているが[9]，ウナギにおいては全くこれを認めることができない。

第6表 ウナギ体各部におけるAの分布

Table 6. Distribution of vitamin A in the body of eel.

Sample Number	全長 Total length	体重 Body length	肝臓 Liver 重量 Weight	含油量 Oil content	組織中A V.A per g of tissue	総A V.A in whole tissue	体の総Aに対する比 Ratio of V.A to whole body
	cm	g	g	%	IU/g	IU	%
39	32.0	39	1.2	5.6	14.9	17.9	**7.7**
43	43.7	109	2.95	7.69	14.6	43.1	**6.14**
83	62.0	430	5.5	2.46	1140	6260	**27.6**
N46	76.0	765	7.45	4.40	827	6160	**9.4**

Sample Number	肝臓以外の内臓（腎臓をも含む） Viscera including kidney 重量 Weight	含油量 Oil content	組織中A V.A per g of tissue	総A V.A in whole tissue	体の総Aに対する比 Ratio of V.A to whole body	肉（皮共） Flesh with skin 重量 Weight	含油量 Oil content	組織中A V.A per g of tissue	総A V.A in whole tissue	体の総Aに対する比 Ratio of V.A to whole body
	g	%	IU/g	IU	%	g	%	IU/g	IU	%
39	2.7	3.8	0	0	**0**	24.5	13.4	7.7	188.5	**80.8**
43	7.7	5.2	0	0	**0**	77	15.2	7.2	564	**80.3**
83	1.2	3.4	6.2	74.7	**0.3**	320	15.55	50.1	16030	**70.8**
N46	13.8	2.39	11.7	162	**0.25**	600	12.48	95	57000	**87.2**

Sample Number	頭部 Head 重量 Weight	含油量 Oil content	組織中A V.A per g of tissue	総A V.A in whole tissue	体の総Aに対する比 Ratio of V.A to whole body	骨 Bone 重量 Weight	含油量 Oil content	組織中A V.A per g of tissue	総A V.A in whole tissue	体の総Aに対する比 Ratio of V.A to whole body
	g	%	IU/g	IU	%	g	%	IU/g	IU	%
39	3.7	15.2	3.6	13.3	**5.7**	3.1	10.1	4.4	13.7	**5.9** *
43	8.45	16.5	5.6	47.2	**6.7**	8.45	16.5	5.6	47.2	**6.7** *
83	24	9.35	11.9	286	**1.3**	77	7.03	15.0	11.5	**0.05**
						卵巣 Ovary				
N46	56.0	8.43	27.4	1,535	**2.4**	18.0	10.2	31.8	573	**0.83**

* Separation of bone from the flesh was insufficient.

8) 肉の含油量と肉油の A 濃度との関係

肉の含油量と肉油の A 濃度との関係を図示すれば Fig. 4 の通りである。サンマ等においては両者の間に明らかな相関のあることが知られているが，ウナギにおいてはそれらと異り，A濃度は含油量と関係なく，単にほぼ一定の範囲にあると云える。そして天然は養殖よりもはるかにA濃度が高い。このことは天然のウナギの養殖のものに比し，概して含油量が低く且つその油の A 濃度が比較的高いためであろう。

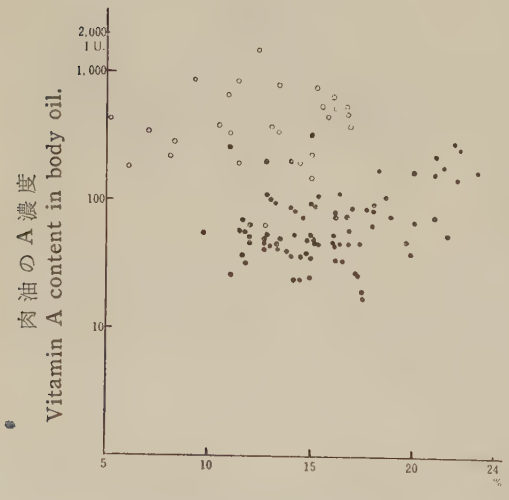
9) 肉の A_2 様物質について

以上の結果はいずれもビタミン A を A_1 のみとして算出したものであるが，数個の試料につき不鹸化物の $SbCl_3$ 試薬呈色における 620 mμ（A_1 の吸収極大）と 693 mμ（A_2 の吸収極大）との吸光値の読みを求め，その比を示せば Table 7 の通りである。この測定は不鹸化物について行つたものであるから，おそらく A_1A_2 以外のクロモーゲンをも含み，従つて表の数値は必ずしも A_1 と A_2 との量的関係を示さないであろうが，本実験の範囲では養殖が 2.14～4.38 に対し天然は 1.36～9.16 で，天然の方がはるかに巾の広い変異を示し，A_1 のほかに種々の関連物質を含むことがうかがわれる。このことは天然ウナギは養殖に比し，

第 7 表　養殖ウナギと天然ウナギとの，肉不鹸化物の $SbCl_3$ 呈色の E620/E693 の比較

Table 7. Comparison between cultured and wild eel on E620 mμ/E693 mμ of unsaponifiable matter given by $SbCl_3$ reagent.

Sample Number	E620/E693	Sample Number	E620/E693
養　殖 Cultured eel		天　然 Wild eel	
63	3.33	N 12	5.36
64	2.56	〃 13	2.56
65	3.59	〃 14	1.81
66	4.38	〃 15	3.18
67	3.05	〃 16	5.30
68	3.21	〃 17	6.13
69	2.82	〃 18	9.16
70	3.50	〃 19	2.86
71	3.51	〃 20	3.93
72	2.97	〃 21	7.86
		〃 22	6.25
		〃 23	1.36



●: cultured eel.　○: wild eel.

第 4 図　肉の肝油量と肉油のビタミン A 濃度との関係

Fig. 4. Relation between oil content in flesh and vitamin A content in the oil.

生活環境がさまざまであり，したがつて体成分にも変化が広いことを反映するものであろう。

10)　生けしめとビタミン A の消長

養殖池からとり上げたウナギは，輸送にたえるようにするために，数日間絶食させることが行われ，これを生けしめという。生けしめによるA含量の消長をみるために1959年 7 月浜名湖水試の試験池から任意に数十尾のウナギを捕えて籠に入れ，その池につけたまま餌をやらずにおき，20日後にとり上げ，同じ池で給餌をつづけていたものと比較した結果は Table 8 の通りである。大島[9]は夏季生けしめを行なつた際のウナギの体重および一般成分の減耗を検し，個体差がかなり大きいが，体重は23日後に 8.61% 減少したと報じている。本実験においては体重の減少を正確に測定しなかつたが，取上区，生けしめ区の試料魚に，体長においては差がないが，体重は後者の方が明らかに少ないのは，生けしめの影響と考えられる。また肝臓重量/体重 も生けしめ区の方が小さい。肉のA含量は生けしめ区の方が，平均値においてやや多いが，差は有意ではなかつた。肝臓のAは，取上区においてはあまり高くなかつたのに反し，生けしめ区の試料には著しくAの濃厚な個体があつた。即ち平均値で比較すると，生けしめによりA

第 8 表　生けしめを行なつたものと行なわないものとのA含量の比較

Table 8. Comparison of vitamin A between groups kept with or without feeding for 20 days.

	Sample Number	全長 Total length	体長 Body length	体重 Body weight	肉（皮共）Flesh with skin 含油量 Oil content	油中A V.A in oil	100g中A V.A per 100g of flesh	肝臓 Liver 重量 Weight	組織gr当A V.A per g of tissue	肝臓重量/体重 Liver wt / Body wt
		cm	cm	g	%	IU	IU	g	IU	
取上区	63	38.6	38.3	71	12.8	103.0	1200	0.70	96	1.0
Group kept with feeding	64	37.6	37.1	71	17.4	88.3	1200	0.93	165	1.3
	65	36.6	36.3	70	16.0	43.7	698	0.91	48	1.3
	66	36.5	36.3	70	16.8	58.9	988	1.04	163	1.49
	67	36.1	35.8	69	11.7	57.1	669	1.11	155	1.61
	68	34.6	34.4	60.2	17.5	19.4	337	0.95	97	1.58
	69	35.1	34.9	58	14.9	49.7	730	0.87	87	1.50
	70	34.5	34.2	58	14.5	63.0	912	0.90	—	1.55
	71	32.6	32.4	56	15.1	50.4	761	0.85	480	1.52
	72	33.3	33.0	50.3	13.4	49.3	660	0.87	407	1.73
生けしめ区	73	38.8	38.4	71	18.9	72.8	1375	0.85	—	1.19
Group kept without feeding	74	34.1	33.7	56	16.1	54.5	876	0.55	134	0.98
	75	36.9	36.5	55	16.5	29.5	412	0.37	141	0.67
	76	36.6	36.4	55	18.1	91.7	1660	0.56	3840	1.01
	77	36.0	35.8	55	16.8	23.7	399	0.35	407	0.63
	78	36.0	35.5	55	14.5	36.4	527	0.38	1473	0.69
	79	34.5	34.3	46	14.2	80.3	1140	0.38	236	0.83
	80	34.5	34.1	45.5	16.2	78.2	1265	0.41	1635	0.90
	81	34.5	34.1	45	12.0	61.6	740	0.37	1156	0.82
	82	33.1	32.7	45	14.1	51.8	746	0.35	570	0.78

が増加した計算となるが，試料間の個体差がはなはだ大きいので，この種の実験には更に多数の個体を用いて検討することが必要と考える。しかしおそらく生けしめにより体中のAはほとんど減少しないものと想像される。

11）体油の沃素価および多臭化物含量について

大島[10]は天然および養殖のウナギの一般組成を比較し，また体油の特数を測定し，体油の沃素価は平均，天然 96.8，養殖 114.4 であつたと報じている。著者らの試料における値を示せば Table 9 の通りである。測定は臭化ピリジン法によつた。天然は 82.1～114 で，平均 100.16 であるが，養殖は 112.8～137.2 で平均 130.0 であつた。著者らの実験によるとウナギは飼育1ヶ月内外で体油の沃素価が餌料中の油の沃素価と等しくなるから，天然と養殖との沃素価の違いは結局それらの餌料の油の違いを反映するものであろう。Table 10 は体油の多臭化物価を測定した結果であるが，養殖は天然に比し，高度不飽和酸の含量が著しく高いことが知られる。これも上記の推測を裏づけるものであろう。

摘　要

1）ウナギの多数の試料につきA含量を測定した。同じ池の試料においても，肉，肝臓のA含量は甚だ個体差が大きいが，概して魚体の大きいものは肉のA含量が高い。また天然は養殖に比しA含量が高い。特に下りウナギはAが高い。

第 9 表 天然および養殖ウナギの体油の沃素価

Table 9. Iodine value of body oil of the wild and the cultured eel.

Sample Number	体重 Body weight	体油の沃素価 Iodine value of body oil	産地その他 Locality and date of catch	
天然ウナギ Wild eel				
1	0.2055(平均) g	93.6*	浜名湖 *全魚体油につき測定	1951, 5, 8
N 1	97	109	浜名湖	1951, 8, 12
N 3	96	113	〃	
N 4	92	114	〃	
N 5	134	108.5	〃	
N 6	834	111.5	〃	
N 27	100.5	100.0	名古屋	1951, 3, 20
N 28	114	90.3	〃	
N 29	102	87.5	〃	
N 30	270	94.7	〃	
N 31	108	82.1	岡山	1953, 3, 20
N 32	125	95.2	〃	
N 33	332	98.2	〃	
N 39	435	107.1	金沢	1953, 5, 16
N 40	300	109.4	岡山のサジもの	1953, 5, 16
N 41	437	92.0	浜名湖下りウナギ♀	1951, 10, 12
N 42	522	95.0	〃	
N 43	595	86.0	〃	
N 44	710	99.5	〃	
N 45	721	103.5	〃	
N 46	765	106.8	岡山下りウナギ♀を春まで囲つておいたもの	1953, 3, 20
		(Average) **100.16**		
養殖ウナギ Cultured eel				
4	15.5～40.0(10尾)	122.0	静岡水試 浜名湖分場	1951, 9, 9
5～9	61.0～79.5(5尾)	135.5	〃	1951, 10, 12
10～14	50.0～71.5(5尾)	132.0	〃	〃
15～19	81.0～98.0(5尾)	137.2	〃	1951, 11, 19
20～24	88.0～125.0(5尾)	132.2	〃	〃
25	102	133.2	〃 冬眠中無給餌	1952, 2, 5
26	79	136.0	〃 〃	〃
27	81	137.2	〃 〃	〃
28	83	135.5	〃 〃	〃
29	81	138.2	〃 〃	〃
30～36	57.0～104.0(7尾)	135.0	静岡水試浜名湖分場	1952, 4, 1
38	42	121.1	〃	1951, 5, 8
39	39	124.8	〃	〃
44	39.5	112.8	〃	〃
85	980	121.1	浜名湖地区業者の生産品	1951, 5, 8
86	575	124.8	〃	〃
87	265	123.8	〃	〃
		(Average) **130.0**		

第 10 表 ウナギ体油の多臭化物価

Table 10. Poly bromine value of body oil of eel.

Sample Number	多臭化物価 Poly bromine value	Sample Number	多臭化物価 Poly bromine value
天然 Wild eel		養殖 Cultured eel	
N 27	11.8	108	57.8
N 28	10.0	109	54.2
N 29	10.2	110	49.0
N 30	5.7	111	27.5
		112	52.8

2) 多数の個体について検すると，肉にAの多い個体は，肝臓のAも多い傾向がある。肝臓の含油量を肝油のA濃度との間には何の関係も認められない。また肉油のA濃度も，肉の含油量とは関係がない。

3) 肉の油の不鹸化物の $SbCl_3$ 呈色物の E 620 mμ/E 693 mμ は，天然は養殖に比し，はるかにバラツキが大きい。

4) 「生けしめ」や冬眠による体中の A の消長は，個体差が大きいために，少数の試料では明らかにしえないが，A含量はおそらく影響をうけないものとみられる。

5) 天然は養殖に比し，体油の沃素価が低く，多臭化物価も低い。

本研究に当たり多大の尽力をされた静岡水試浜名湖分場場員諸氏，また試料を提供され，助言を与えられた栃木県水産指導所，浜名湖養魚漁業協同組合，浜名湖食品株式会社，榛原養殖漁業協同組合，生産間屋三和，中市の諸氏に深甚な謝意を表する。

文　　献

1) 藤巻良知ほか：栄研報告 **2** 171(1928)
2) 著者ら：ビタミン **13** 237～245(1957)
3) 同　上：〃　**7** 158～162(1954)
4) 平尾ら：東海水研報 **25**-49～65(1959)
5) 木下謙次郎：美味求真(1927)
6) 吉岡保五郎編「うなぎ」全国淡水魚組合連合会発行(1954)
7) 著者ら：東海水研報告 **27** 61～66(1960)
8) 著者ら：日水誌 **18** 310～318(1953)
9) 小倉馨，山田金次郎：日水誌 **10** 69(1941)
10) 大島信夫：水産試験場報告 **1** 155～165，177～200(1930)

Studies on Fluctuation of the Vitamin A Content in Fishes-IV
Vitamin A and Lipids in Eel

Hideo Higashi, Shuichi Hirao, Juami Yamada, Ryô Kikuchi
and Hiroshi Noguchi

Synopsis

Among ordinary food fish, the eel (*Anguilla japonica*) can be said the richest in vitamin A, as reported in previous papers*. Little information, however, has been made available

about fluctuations in the amount of vitamin A that may occur from sample to sample depending on size, maturity, season and locality of catch, etc. The work under report has been carried out in order to observe these fluctuations in the eel and thereby to consider a possibility of drawing a trend in the fluctuations in fish in general out of the experiment using the eel as a model.

Sources of the materials used for the vitamin A determination are listed in Tables 1 to 5 and 9 together with the data of catch.

Variations in the vitamin A content with the growth of eel were observed by determining the vitamin A level for samples reared with diets of sardines and Alaska pollack in the ponds of the Shizuoka Prefectural Fishing Experimental Station. As is seen in Table 1, the level of vitamin A considerably increases till the larva grows up to five grams in body weight. During the subsequent period, however, it remains in a certain range with a fairly large fluctuation according to the length of time given for the experiment.

Individual differences of vitamin A were observed large even among the samples from the same pond. In Table 1 samples Nos. 15—24 were determined in late autumn immediately before to stop feeding, Nos. 25—29 in the mid-winter when no food was given, Nos. 30—37 in early spring just before reopening the feeding. The fact has made it difficult to ascertain whether or not the vitamin A level decreases when they are kept without feeding in winter. Generally speaking, however, wild eels are richer in vitamin A with a wider fluctuation in the oil content than cultured ones (Tables 3 and 4). Table 5 shows the vitamin A content in mature eels ready for seaward migration for spawning. Reference to Tables 3 to 5 may reveal that the mature eel has vitamin A at a higher level than the young. Although the vitamin A content per unit of body weight increases with the age as a rule, greater fluctuations in the level of wild eels may represent diversities of their natural environments (Fig. 1).

In Table 6 showing the distribution of vitamin A in the body, more than 80 per cent of vitamin A is found in the flesh, while the liver possessed only a small portion. The fact is characteristic of the eel as well as the lamprey, making them different from many other fishes. Obviously from the above tables, little correlation exists between the flesh and the liver to the vitamin A content per gram of tissue. In the case of the total amount of vitamin A, however, a proportional tendency was observed between the flesh and the liver, though the individual fluctuation was very wide among the samples. The authors reported previously that many fishes show a proportional correlation between the oil content in the liver or the flesh and the vitamin A content of the oil. In the case of the eel, however, none of those correlations was found applicable (Figs. 3 and 4).

Table 7 indicates the ratio of E620 mμ by E693 mμ of unsaponifiable matter colored with antimony trichloride reagent. Wild eels show far wider variations in the ratio than those in cultivation, suggesting that the former represents much diversity in chlomogens contained in the oil than the latter. Before shipping, cultured eels are kept without food for a few days so that they may live out during the transportation. During 20 days of experimental starvation given in that respect, no obvious decrease in vitamin A was observed in spite of a decrease in the weight of the liver and the body (Table 8).

Iodine value of the body oil determined by pyridine bromide method was much lower in wild eels than in the cultured ones, while poly-bromide value vice versa (Tables 9 and 10). The phenomena may be attributed to the difference of diet between the two groups of the fish.

* Authors; Vitamins **7** 158～162(1954), ibid **13** 237～245(1957), Jap. Soc. Sci. Fish. **18** 310～318 (1953), Bull. Tokai. Fish. Lab. **27** 61～66(1960)

Hirao et al; ibid **25** 49～65(1959)